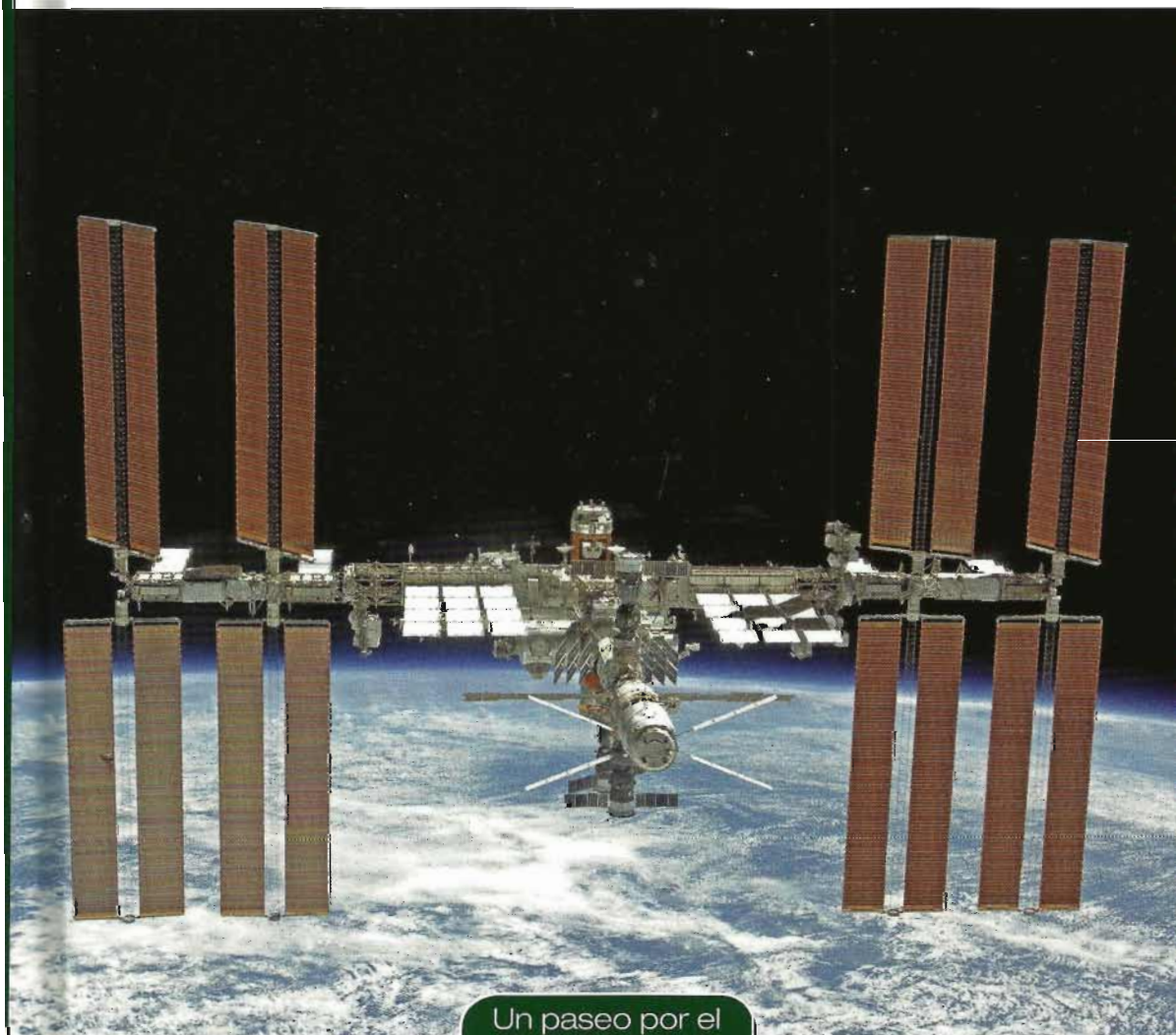


La exploración del espacio

Los primeros pasos en la colonización
de otros mundos



Un paseo por el
COSMOS

EXLIBRIS Scan Digit



The Doctor y La Comunidad

Redigirización: The Doctor

<http://thedoctorwho1967.blogspot.com.ar/>

<http://el1900.blogspot.com.ar/>

<http://librosrevistasinteresesanexo.blogspot.com.ar/>

<https://labibliotecadeldrmormoreau.blogspot.com/>

La exploración del espacio

Los primeros pasos en la colonización
de otros mundos

RBA

Imagen de cubierta: La Estación Espacial Internacional (ISS), captada desde el transbordador Discovery, durante los minutos posteriores al desacoplamiento de la nave.

Dirección científica de la colección: Manuel Lozano Leyva

© Óscar Augusto Rodríguez Baquero por el texto
© RBA Contenidos Editoriales y Audiovisuales, S.A.U.
© 2017, RBA Coleccionables, S.A.

Realización: EDITEC

Diseño cubierta: Llorenç Martí

Diseño interior: tactilestudio

Infografías: Joan Pejoan

Fotografías: Archivo RBA: 17b, 21, 43; EFE/Agencia SINC: 46; ESA/NASA/BOHO: 115; Human Spaceflight Laboratory/University of North Dakota: 157; NARA: 51b; NASA: portada, 63a, 63b, 69b, 77a, 77b, 79, 85b, 97a, 97b, 101, 121, 128, 137, 139, 143a, 159a, 159b; NASA/Colección Espacial Dr. Luis Ruiz de Gopegui/Proyecto Museo Español del Espacio: 133; NASA/ESA: 140; NASA, ESA, AURA/Caltech: 17a; NASA/ESO/Óscar Augusto Rodríguez Baquero: 143b; NASA/JPL: 125a; NASA/JPL-Caltech: 129; NASA/JPL/Cornell: 125b; NASA/NSBRI: 106-107; NASA/Óscar Augusto Rodríguez Baquero: 90-91, 94a, 94b, 119a; RIA Novosti/Wikimedia Commons: 69a; RKK Energia: 85a; Óscar Augusto Rodríguez Baquero: 51a, 59, 75, 87, 151; RSA/NASA: 119b; War Office/British Army: 49; Wellcome Images/Wellcome Trust: 25.

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida, almacenada o transmitida por ningún medio sin permiso del editor.

ISBN: 978-84-473-8788-5
Depósito legal: B-1706-2017

Impreso y encuadernado en Rodesa, Villatuerta (Navarra)
Impreso en España - Printed in Spain

SUMARIO

INTRODUCCIÓN	7
CAPÍTULO 1	Génesis de los vuelos espaciales 13
CAPÍTULO 2	Preludio e inicio de la aventura del espacio 33
CAPÍTULO 3	La carrera hacia la Luna 55
CAPÍTULO 4	Vivir y trabajar en el espacio 81
CAPÍTULO 5	Exploración robótica planetaria 109
CAPÍTULO 6	El espacio en los próximos cincuenta años 145
LECTURAS RECOMENDADAS	163
ÍNDICE	165

¿Por qué exploramos? Seguramente esta es una pregunta que mucha gente se ha formulado. Y quizá la respuesta más acertada y simple es que exploramos porque somos humanos. Desde que apareciera nuestra especie sobre la faz de la Tierra, el espíritu humano siempre ha estado ávido de conocimiento, de buscar respuestas a las preguntas que han ido surgiendo a través de las distintas civilizaciones. Ese anhelo de conocimiento, que podemos resumir en el término *curiosidad*, se tradujo, en siglos pasados, en la puesta en marcha de ambiciosas expediciones con el propósito de explorar nuevas tierras. Ello influyó notablemente en la historia de la humanidad, ya que permitió un amplio intercambio cultural, tecnológico y científico.

En la actualidad, esas exploraciones han tenido su continuación en el lanzamiento de ingenios espaciales con el objeto de conocer nuevos lugares, en esta ocasión ajenos a nuestro propio planeta. A la postre, el impacto viene siendo el mismo que el producido por las antiguas exploraciones, con la adquisición de nuevos conocimientos y el desarrollo de nuevas tecnologías, cuya aplicación ha mejorado no solo nuestra calidad

de vida sino que también ha permitido acercar entre sí a los diversos pueblos de la Tierra mediante, por ejemplo, las telecomunicaciones.

El espacio exterior es una fuente inmensa de conocimiento científico. A lo largo y ancho del vasto universo, tienen lugar una serie de fenómenos y procesos para muchos de los cuales todavía la ciencia no ha sabido proporcionar una explicación definitiva. Estos se encuentran estrechamente ligados a la creación del universo y a su evolución a través de los eones. El espacio también ha sido fuente de estímulo para nuestros antepasados, quienes observaban el desplazamiento de puntos errantes en el firmamento (los planetas), describiendo movimientos, en ocasiones complejos, pero siempre regulares. El deseo de calcular y predecir tales movimientos impulsó las matemáticas. Con el transcurso de los siglos, y gracias a científicos como Johannes Kepler e Isaac Newton, la humanidad pudo comprender las reglas que regían el movimiento planetario, lo que propició el desarrollo de la física moderna y, también, de la tecnología.

Desde siempre, el ser humano ha mostrado un gran anhelo por determinar su posición en el cosmos, conocer el origen de la Tierra y nuestro entorno planetario, y la evolución que ha experimentado y experimentará nuestro sistema solar (y el universo en general) en los próximos millones de años. En este sentido, y gracias a las investigaciones científicas llevadas a cabo en el campo de la astronomía y la astronáutica, el ser humano ha adquirido conciencia de que no constituye el centro del universo, sino más bien una minúscula partícula en la inmensidad del cosmos. El eminente Carl Sagan definió perfectamente nuestro lugar en el espacio al contemplar la imagen de la Tierra tomada por la sonda Voyager 1 en 1990, mientras abandonaba el sistema planetario: «Vivimos en una mota de polvo suspendida sobre un rayo de luz del Sol [...]. Nuestra imaginada supremacía, la ilusión de que tenemos alguna posición privilegiada en el universo, todo eso se ve cuestionado por ese punto de luz pálida». Gracias a la exploración del espacio, los planetas, lunas, cometas, asteroides, nebulosas y galaxias han dejado de ser extraños puntos errantes y formas luminosas suspendidas en la oscuridad del fir-

mamento. Se han convertido en objetos claramente definidos y fuentes de conocimiento constante.

Por otra parte, los estudios realizados en la superficie de planetas, cometas y asteroides, así como en rocas venidas del espacio, sugieren que la vida seguramente no es un producto exclusivo de la Tierra, que esta atiende a una sucesión de «accidentes» biológicos, y que organismos que son capaces de desarrollar su actividad biológica en condiciones extremas (denominados científicamente *extremófilos*), similares a los existentes en nuestro planeta, han podido asentarse en cuerpos celestes tales como el planeta Marte o la luna joviana Europa, cuyos respectivos ambientes podrían, con relativa facilidad, sostener las condiciones ideales para su proliferación y desarrollo.

La ciencia planetaria ha experimentado un gran avance gracias a la exploración espacial. Tanto es así que se han creado e impulsado diversas disciplinas dentro de este ámbito, entre ellas la geología planetaria, la ciencia atmosférica, la cosmoquímica y la exoplanetología. Este conjunto de disciplinas se encargan de estudiar la estructura, composición y atmósfera de planetas y otros cuerpos de nuestro sistema solar, y de extrapolar los modelos estudiados a nuestro planeta y viceversa, con objeto de establecer similitudes y diferencias entre ellos. En este sentido, encontramos un claro ejemplo en las observaciones de la atmósfera de Venus. Gracias a los datos obtenidos podemos comprender mucho mejor los mecanismos que contribuyen al desarrollo del efecto invernadero, y ese conocimiento está siendo de vital importancia en la toma de medidas para paliar los efectos del calentamiento global y consecuente cambio climático aquí en la Tierra.

Los ecologistas también han encontrado en la exploración del espacio una fuente de inspiración y apoyo. Gracias a la puesta en órbita de aquellos satélites encargados de observar la Tierra, nunca antes la sociedad había sido más consciente de los problemas que afectan al ecosistema terrestre. Incendios, deforestación, vertidos industriales y un largo etcétera son fenómenos perfectamente perceptibles desde la órbita terrestre, y las imágenes y datos enviados por los satélites están contribuyendo sobremanera a seguir de cerca estos fenómenos y al estable-

cimiento de mecanismos para frenar aquellas actividades que comprometen el ecosistema global.

Mediante las imágenes de la Tierra enviadas por diversos ingenios espaciales, la sociedad ha sido testigo de que no existen fronteras ni países dibujados en la geografía terrestre. Todos vivimos en un mismo lugar, rodeado de vastos espacios en los que reina la oscuridad y el vacío. Ello ha infundido en un importante sector de la sociedad un mayor sentimiento de unidad. Como decía el famoso escritor Arthur C. Clarke: «Es difícil imaginar, incluso para el más ferviente de los nacionalistas, el hecho de no reconsiderar sus puntos de vista al ver cómo la Tierra se va alejando poco a poco hasta quedar reducida a un pequeño punto de luz perdido entre millones de estrellas». Todos estos sentimientos han provocado ciertos cambios, muy positivos, en la historia de la humanidad.

Nos interese o no, la exploración espacial ha modificado el curso de esta historia. Hazañas tales como la puesta en órbita del primer satélite artificial en 1957, el lanzamiento del primer ser humano al espacio cuatro años después, la llegada de los primeros astronautas a la Luna en 1969 o el primer aterrizaje de una sonda robotizada en la luna Titán en 2005, constituyen hitos comparables en espectacularidad y trascendencia al descubrimiento de América, el de la penicilina, el de la fisión del átomo o el primer vuelo a motor realizado por los hermanos Wright.

Aun así, y a pesar de los conocimientos obtenidos que nos permiten obtener una visión inicial de nuestra ubicación en el cosmos, el ser humano mantiene una postura geocentrista. Un ejemplo claro lo encontramos en las expresiones que todos utilizamos diariamente. Decimos que el Sol sale y se pone, y obviamos que es nuestro planeta el que gira. Todavía pensamos que el universo ha sido creado para nuestro beneficio, y que únicamente está habitado por una especie inteligente. Pero, paulatinamente, la exploración espacial está infundiendo un sentimiento de humildad, al demostrar que nos encontramos inmersos en un universo de proporciones incalculables, que la especie humana no constituye, siquiera, un mínimo porcentaje entre tanta inmensidad y que, por estadística, sería una de los millones de

civilizaciones que podrían extenderse por los miles de millones de galaxias conocidas.

Las investigaciones científicas en general, y las realizadas en el ámbito de la exploración espacial en particular, han logrado dar respuestas a fenómenos que habían sido enmarcados en el campo de la creencia, de la religión. La sociedad ha comenzado a demandar información sobre la posición de la especie humana en el universo y su procedencia. Con el transcurso del tiempo, la afición por las ciencias del espacio ha experimentado un notable aumento, lo cual se traduce en la constitución de numerosas comunidades y asociaciones dedicadas a su estudio a lo largo y ancho de la geografía mundial. Millones de personas acuden anualmente a aquellos centros dedicados a la divulgación de esta temática, tales como planetarios, museos, observatorios y campamentos espaciales.

Actualmente nos encontramos en el mero inicio de la exploración del espacio. Solo nos separan unas pocas décadas del lanzamiento del primer satélite artificial. Nuestra generación está viviendo un momento de vital importancia que influirá decisivamente en el futuro de la especie humana. Las generaciones venideras serán testigos del asentamiento del ser humano en otros cuerpos del sistema solar, como la Luna y el planeta Marte, e incluso del establecimiento de explotaciones mineras en asteroides. El ruso Konstantín Eduárdovich Tsiolkovski, uno de los considerados *padres* de la astronáutica, dijo hace más de cien años que «la Tierra es la cuna de la humanidad, pero la humanidad no podrá vivir para siempre en la cuna».

En definitiva, exploramos porque somos humanos e intentamos, en cierto modo, conocernos mejor a nosotros mismos y dar respuesta al porqué de las cosas. Quizá, y como señaló Sagan, «el ser humano es una vía creada por el cosmos para conocerse a sí mismo».

Génesis de los vuelos espaciales

El ser humano comenzó a explorar el espacio miles de años antes de lanzar el primer satélite artificial. La visión de un firmamento poblado de millones de pequeños puntos brillantes fue el detonante para que diera los primeros pasos, primero a través de la mitología, luego mediante la literatura y, finalmente, con la ciencia.

La búsqueda de respuestas al porqué del origen del universo se remonta al amanecer de las civilizaciones. En la actualidad, lanzamos ingenios para explorar el cosmos, y a partir de los datos que estos nos suministran podemos reconstruir poco a poco su historia, prácticamente desde sus inicios, pudiendo incluso bosquejar qué evolución tendrá en los próximos miles de millones de años. Sin embargo, en la antigüedad no existían medios técnicos para poder profundizar en el conocimiento del universo. Se dejaba paso, entonces, a la fértil imaginación humana, que con el transcurso de los años creó un entramado de historias y personajes universales que se perpetuaron generación tras generación. Nació así la mitología.

Encontramos ejemplos de estas historias en todos y cada uno de los pueblos de la Tierra, no solo pasados sino también presentes. Todas ellas poseen un patrón común: la existencia de poderosas deidades, o de seres procedentes de otros planetas, responsables de la creación de todas las cosas conocidas, unas veces a partir de sus propios materiales corporales (sangre, lágrimas y, en las historias más recientes, ADN) y otras teniendo como base elementos fundamentales como la tierra, el aire, el

fuego y el agua. La mayoría de estas deidades proceden de un lugar sagrado que predomina sobre los demás, inalcanzable para cualquier ser terrenal: el cielo.

LA MITOLOGÍA EN LOS ORÍGENES DE LA CIVILIZACIÓN

Los orígenes de la primera gran cultura de la historia se sitúan entre el IV y el III milenio antes de Cristo, en una región de Oriente Medio conocida como Mesopotamia (palabra que procede del griego, cuyo significado es «entre dos ríos»). El territorio se encuentra limitado por los ríos Tigris y Éufrates, y en él se ubica actualmente el estado de Iraq.

Mesopotamia estaba integrada por multitud de ciudades-estado de pequeñas dimensiones con un elevado nivel social y cultural. Entre los años 3500 y 3000 a.C., uno de los pueblos que moraban Mesopotamia, los sumerios, desarrollaron un evolucionado método de comunicación llamado *escritura cuneiforme*, que consistía en grabar símbolos con forma de cuña en tablas de cerámica, de las que hoy en día, afortunadamente, se conservan miles. Con el transcurso del tiempo, las ciudades-estado se concentraron y formaron dos imperios, llamados Babilonia (situado al sur de Mesopotamia) y Asiria (ubicado al norte).

Gracias a las tablillas cuneiformes sabemos que los pueblos mesopotámicos tenían una gran riqueza mitológica, y han sido numerosas las crónicas e historias que han sobrevivido al paso de las centurias. Por ejemplo, se sabe que los babilonios creían que el mundo flotaba sobre un océano cósmico al que llamaban Apsu, el cual estaba formado por un plano circular limitado por un río, más allá del cual se situaba una cadena de montañas infranqueables sobre las cuales se apoyaba la bóveda celeste, que creían estaba hecha de un metal muy resistente. Las montañas situadas hacia el norte albergaban una puerta que conducía al cosmos. Esta, a su vez, conectaba a través de un túnel con otras dos puertas, orientadas hacia el este y el oeste, respectivamente. El Sol, que todas las mañanas salía por la puerta del este, se desplazaba a lo largo del día por la bóveda celeste hasta entrar

EL MITO GRIEGO DE LAS PLÉYADES

Las Pléyades eran siete hermanas, de nombres Maya, Electra, Alcione, Táigeta, Estérope, Celeno y Mérope. Eran hijas del titán Atlas y de la oceánide Pléyone. Cierta día, mientras paseaban, las Pléyades y su madre se encontraron con Orión, un coloso cazador. Este se enamoró de las jóvenes e incessantemente las persiguió durante años. Zeus decidió convertir a las hermanas en palomas para ayudarlas a escapar de Orión, y estas iniciaron un vuelo hacia el firmamento para convertirse en el grupo de estrellas que actualmente conocemos con el mismo nombre, y que se sitúan en la constelación de Tauro.

El misterio de la Pléyade perdida

Actualmente, solo seis de las siete estrellas son visibles. Los antiguos griegos intentaron explicar la ausencia de la séptima estrella mediante diversas leyendas. De acuerdo con una de ellas, todas las Pléyades contrajeron matrimonio con dioses, excepto Mérope, que abandonó a sus hermanas al sentirse avergonzada de tener un marido mortal, Sisifo. Otra explicación está relacionada con el mito de la Pléyade Electra, quien está considerada la antepasada de la casa real de Troya. Los griegos creían que Electra abandonó a sus hermanas apoderada por la desesperación, transformándose en un cometa cuando la ciudad de Troya fue destruida. Lo cierto es que el cúmulo de las Pléyades está formado por estrellas muy jóvenes (de entre 75 y 150 millones de años), por lo que la desaparición puede ser atribuida a una disminución en el brillo de una de ellas.



Arriba, imagen del cúmulo de las Pléyades, tomada desde el Observatorio de Monte Palomar (San Diego, California). A la izquierda, *Las Pléyades*, pintura de Elihu Vedder realizada en 1885 y que se conserva en el Museo Metropolitano de Arte de Nueva York.

por la puerta del oeste, permaneciendo toda la noche oculto en el túnel.

La civilización mesopotámica pensaba que la vida tuvo su origen en la combinación del océano cósmico, Apsu, con el caos, personificado en una diosa llamada Tiamat. Según la leyenda, con el transcurso del tiempo, y en la creencia de que sus dominios no eran lo suficientemente amplios, Tiamat osó declarar la guerra a otros dioses babilonios, aunque solo uno de ellos, llamado Marduk, tuvo el valor de enfrentarse a ella. Cuando Tiamat abrió la boca para engullirle, Marduk lanzó hacia su garganta un saco que contenía vientos huracanados, y aprovechó su indisposición para clavarle una lanza y darle muerte. Tras su defenestración, Marduk dividió la osamenta de Tiamat en dos, creando con su parte inferior la Tierra y con la superior el cielo. Por último, mezcló su propia sangre con la Tierra para dar origen a una forma de vida destinada al servicio de los dioses: los seres humanos.

Ejemplos similares a la mitología babilónica los encontramos en otras civilizaciones, como la egipcia, la griega, los pueblos precolombinos y, más recientemente, en los pueblos nativos americanos, en tribus africanas y en los pueblos aborígenes de Australia, lo que demuestra que la mitología está asociada intrínsecamente a la psicología humana, al deseo de conocer y a inventar historias para intentar llenar lagunas en nuestro conocimiento de aquello que nos rodea.

LA CIENCIA FICCIÓN: UNA FORMA DE MITOLOGÍA CONTEMPORÁNEA

En los últimos siglos, las historias enmarcadas en la mitología, lejos de desaparecer, han evolucionado y se han adaptado a dos de los ámbitos en los que se basa la cultura contemporánea: la literatura y el cine. En este sentido, en los últimos ciento cincuenta años ha proliferado un nuevo género literario y cinematográfico, la ciencia ficción, una innovadora forma de contar historias fantásticas dado que estas se sustentan en una base científica, cuali-

dad que añade cierta verosimilitud a las mismas. Muchas de estas historias tienen al espacio como escenario de desarrollo, punto de partida o destino final. Tal es el caso de *De la Terre à la Lune* (*De la Tierra a la Luna*) y *Autour de la Lune* (*Alrededor de la Luna*), del francés Julio Verne (1828-1905), o *First men on the Moon* (*Los primeros hombres en la Luna*) y *War of the worlds* (*La guerra de los mundos*), del británico Herbert George Wells (1866-1946). Tales obras inspiraron profundamente a científicos e ingenieros que fueron esenciales en la historia de los vuelos espaciales, como Konstantín Tsiolkovski, Robert Goddard, Wernher von Braun o Serguéi Koroliov, entre otros.

A lo largo del siglo xx, otras obras como *Foundation* (*La Fundación*) de Isaac Asimov, *The Martian chronicles* (*Crónicas marcianas*) de Ray Bradbury y *2001: a space odyssey* (*2001: una odisea del espacio*) de Arthur C. Clarke, se convirtieron igualmente en exponentes en el ámbito de la ciencia ficción.

Influencia del espacio en el séptimo arte

Con la llegada del cine, muchas de aquellas historias fueron adaptadas a la gran pantalla, destacando *Le voyage dans la Lune* (*El viaje a la Luna*) del genial cineasta francés Georges Méliès (1861-1938). Rodada en 1902 e inspirada en las novelas de Julio Verne, Méliès introdujo innovadoras técnicas de efectos visuales para aquella época, y su proyección gozó de un éxito sin precedentes.

La ciencia ficción comenzó a vivir su momento dorado en la gran pantalla y en la televisión a partir de la segunda mitad del siglo xx, con el nacimiento de sagas como *Star Trek*, de Gene Roddenberry, iniciada en 1966 y emitida a veces en países hispanos bajo títulos como *La conquista del espacio*, *Viaje a las estrellas* o *Rumbo a las estrellas*, cuya historia se centra en las aventuras de un grupo de humanos y extraterrestres embarcados en una nave cuya misión es explorar nuevos mundos. Otra saga mundialmente conocida, *Star Wars* (*La guerra de las galaxias*), nació en el año 1977 de la mano de George Lucas y

reúne multitud de similitudes con las historias enmarcadas en la mitología, como la existencia del monomito (el viaje del héroe), la dualidad de la persona, definida por dos lados continuamente en litigio, el *lado oscuro* y el *luminoso*, y otros aspectos como la redención.

La Fuerza es un campo de energía creado por todas las fuerzas vivientes. Nos rodea, penetra en nosotros y mantiene unida la Galaxia.

Obi-Wan Kenobi, personaje de *Star Wars*

El éxito de *Star Wars* propició el nacimiento, en el año 1979, de una tercera saga que combinaba el aislamiento del espacio con el género de terror, cuyo lema se hizo mundialmente conocido: «En el espacio nadie puede oír tus gritos». Se trata de *Alien*, dirigida por Ridley Scott,

cuya historia se centra en un grupo de astronautas que, rumbo de regreso a la Tierra a bordo de una astronave comercial, sufre el ataque de una feroz forma de vida extraterrestre a raíz de la visita que la tripulación había realizado a un planetóide para estudiar la procedencia de una extraña señal de radio.

La popularidad y el éxito de estas sagas han propiciado que, aun habiendo nacido en el siglo pasado, continúen rodándose secuelas (e incluso precuelas) de las mismas en el siglo XXI. Son una señal evidente de que el espacio sigue cautivando el interés humano en la actualidad, del mismo modo que lo hacía en la antigüedad.

LAS LEYES PARA NAVEGAR POR EL ESPACIO

La ciencia ficción no deja de ser un mero género fantástico con ciertos matices de realidad, en el que el autor puede prescindir de aquellos aspectos científicos que pudieran comprometer el desarrollo de la historia. Sin embargo, los vuelos espaciales reales están sujetos absolutamente a las leyes de la física. Los siglos XVI y XVII vieron nacer a los científicos que enunciaron las leyes que rigen el comportamiento de los cuerpos celestes, las cuales, siglos después, sirvieron para sentar las bases de los vuelos espaciales.

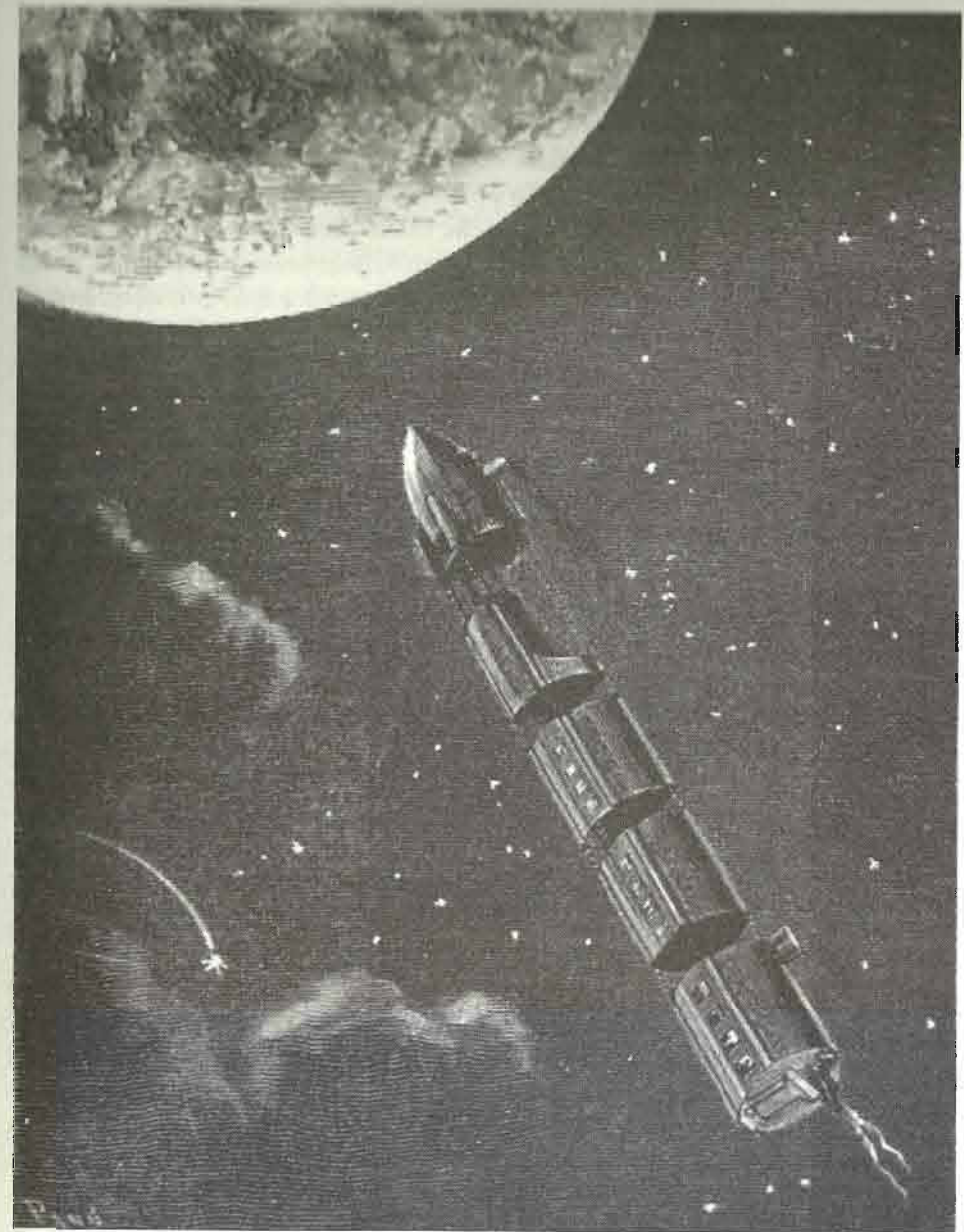


Ilustración realizada por Henri de Montaut en 1868 para la novela *De la Tierra a la Luna*, de Julio Verne.

Johannes Kepler nació el 27 de diciembre de 1571, en Weil der Stadt (hoy parte de la región de Stuttgart), en el seno de una familia humilde alemana. Fue testigo del paso del Gran Cometa de 1577 y de un eclipse lunar en 1580, fenómenos que fomentaron su interés por la astronomía. Cursó estudios de teología y ciencias, y cuando contaba con aproximadamente dieciocho años, comenzó a manifestarse en él una predilección por las ciencias y las matemáticas, convirtiéndose con el transcurso del tiempo en un experto en cálculo. Llegó a ser profesor de esta disciplina en la localidad de Graz (Austria).

El 4 de febrero de 1600, Kepler conoció al astrónomo Tycho Brahe en la ciudad de Benátky nad Jizerou, cerca de Praga, donde Brahe estaba construyendo su nuevo observatorio. Kepler permaneció allí como invitado durante los dos primeros meses, analizando algunos datos obtenidos por Brahe a partir de sus observaciones del planeta Marte. Aunque este último no solía compartir sus datos libremente, permitió a Kepler emplear alguno de ellos dadas sus magníficas facultades en el ámbito de las matemáticas. En junio, Kepler se convirtió formalmente en ayudante de Tycho Brahe.

El escaso acceso a los datos que Brahe proporcionaba a Kepler frustraron al joven Johannes, quien desde hacía tiempo intentaba encontrar una explicación al orden en el universo y determinar el movimiento orbital de los planetas, para lo cual los necesitaba. Los conceptos de Kepler estaban basados en la idea copernicana de que los planetas describen órbitas circulares, lo que le entrañó muchas dificultades para desarrollar sus estudios.

El 24 de octubre de 1601, Brahe falleció y Kepler fue nombrado su sucesor como astrónomo de la corte del emperador Rodolfo II. Aunque sus principales labores en ella se centraban en la elaboración de horóscopos, Kepler continuó su trabajo ahora que disponía de total acceso a los datos recopilados por Tycho Brahe.

Como se ha mencionado, Kepler pensaba que las órbitas descritas por los planetas eran circulares, y ese fue el motivo por el que las observaciones de Marte realizadas por Brahe no encaja-

ban con sus cálculos. Confiando más en tales observaciones que en su propio trabajo, volvió sobre sus pasos, y en 1605 advirtió que tanto las observaciones como sus cálculos encajaban a la perfección si en lugar de basar la órbita de Marte en un círculo lo hacía en una elipse, situando al Sol en uno de sus focos (puntos no pertenecientes a la elipse, pero equidistantes del centro de la misma; la suma de la distancia desde ellos a cualquier punto de la elipse es constante). Kepler tenía al fin la clave para entender el movimiento de los astros. En 1609, publicó un trabajo titulado *Astronomia nova* (*La nueva astronomía*), un gran volumen repleto de operaciones matemáticas en el que incluyó dos de las tres leyes del movimiento planetario; la tercera se publicó diez años después en la obra *Harmonices mundi* (*La armonía de los mundos*). Sus conclusiones quedaron prácticamente ocultas bajo una miríada de detalles. Solo el británico Isaac Newton comprendió, años después, la trascendencia de tales leyes, las cuales fueron esenciales para desarrollar las *leyes de la gravitación universal*. Conocidas desde entonces como *leyes de Kepler*, sus enunciados rezan de la siguiente forma:

- Primera ley, o *ley de las órbitas*: un planeta se mueve describiendo trayectorias elípticas, encontrándose el Sol en uno de los focos de la elipse.
- Segunda ley, o *ley de las áreas*: un planeta gira alrededor del Sol de modo que la línea imaginaria que los une barre áreas iguales en intervalos de tiempo iguales.
- Tercera ley, o *ley de los periodos*: la relación entre el cuadrado del periodo orbital de un planeta y su distancia media al Sol al cubo es la misma para todos los planetas.

Kepler había determinado las leyes que regían el movimiento planetario, pero para él y sus coetáneos la causa de dicho movimiento era aún una incógnita. Falleció el 15 de noviembre de 1630 en la localidad de Ratisbona. Su trabajo no comenzó a ser reconocido hasta transcurridos varios años después de su muerte.

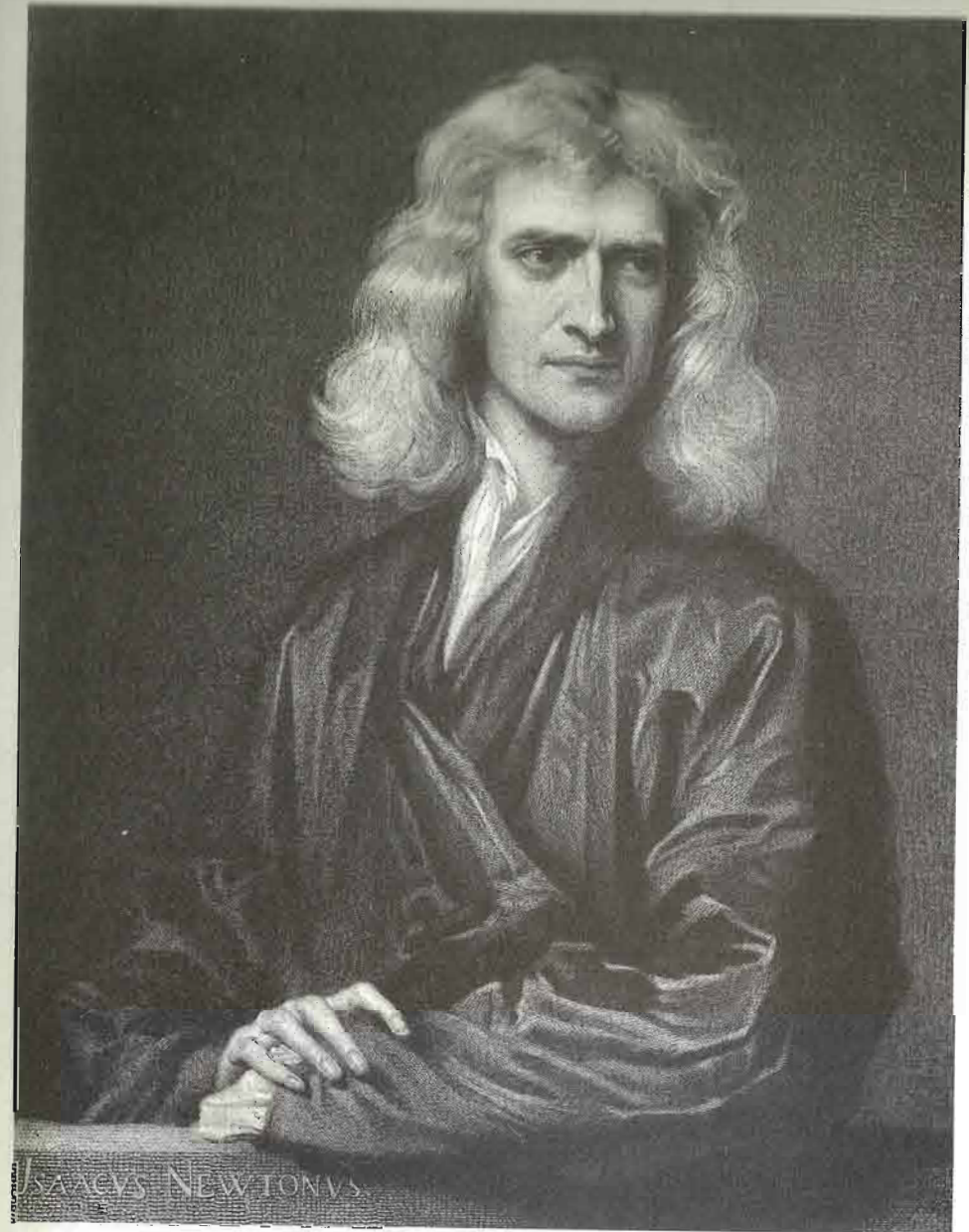
Doce años después del fallecimiento de Johannes Kepler nacía Isaac Newton, quien vino al mundo en Woolsthorpe, en el condado de Lincolnshire (Inglaterra), el 4 de enero de 1643. Tres meses antes de nacer, su padre, llamado igualmente Isaac Newton, falleció, y su madre, Hannah Ayscough, contrajo matrimonio con el reverendo Barnabas Smith, marchándose a vivir con este y dejando al pequeño Newton al cuidado de su abuela. Este hecho propició que el joven odiara a su padrastro y se llevase mal con su abuela.

Entre los doce y los diecisiete años cursó estudios en la King's School, donde aprendió latín y griego. Terminó abandonando la escuela, y en 1659 marchó al campo a trabajar en una granja con su madre. El joven Isaac no sentía precisamente afinidad por el ámbito agrícola. Uno de sus antiguos profesores en la King's School, Henry Stokes, convenció a su madre para que Newton regresara a clase. Desde su reincorporación al mundo académico, comenzó a destacar por sus buenas notas.

En junio de 1661, Isaac Newton ingresó en el Trinity College (Cambridge), que por aquella época no destacaba por tener un alto nivel académico (en la institución predominaban profesores carentes de interés por enseñar). No obstante, el joven Newton se sumergió en los conocimientos más avanzados existentes en física y matemáticas, devorando los trabajos escritos por Johannes Kepler. La curiosidad y el interés dominaron su vida, hasta el extremo de concentrar todos sus recursos en aquellos aspectos que llamaban su atención, descuidando la comida, el sueño e incluso su higiene personal.

Sin la ayuda de nadie y en el transcurso de tres años, Isaac Newton creó una nueva rama dentro de las matemáticas, el *cálculo*, aunque su obsesión por el trabajo fue el motivo por el que se ocupó tan poco de divulgarla.

Su curiosidad le llevó a interesarse por multitud de fenómenos naturales, como el color. En 1665 una epidemia de peste invadió Cambridge, y Newton volvió a su hogar en el condado de Lincolnshire, donde continuó sus estudios sobre cálculo, óptica y luz. También se centró en el estudio de la gravedad, la cual



Retrato del astrónomo inglés Isaac Newton realizado por T.O. Barlow en 1868.

pensaba que no se limitaba a una determinada distancia de la Tierra, sino que se extendía más allá. Se dice que la caída de una manzana mientras descansaba en un jardín fue el detonante para que Newton iniciara sus investigaciones en este campo.

En 1667 regresó a Cambridge y continuó allí sus estudios. A finales del año siguiente, finalizó la construcción de un nuevo tipo de telescopio basado en el principio de la reflexión y no en el de la refracción, como el creado previamente por Galileo Galilei. Este telescopio fue conocido desde entonces como telescopio newtoniano, y su principio constituye la base de muchos observatorios espaciales, entre ellos el Hubble.

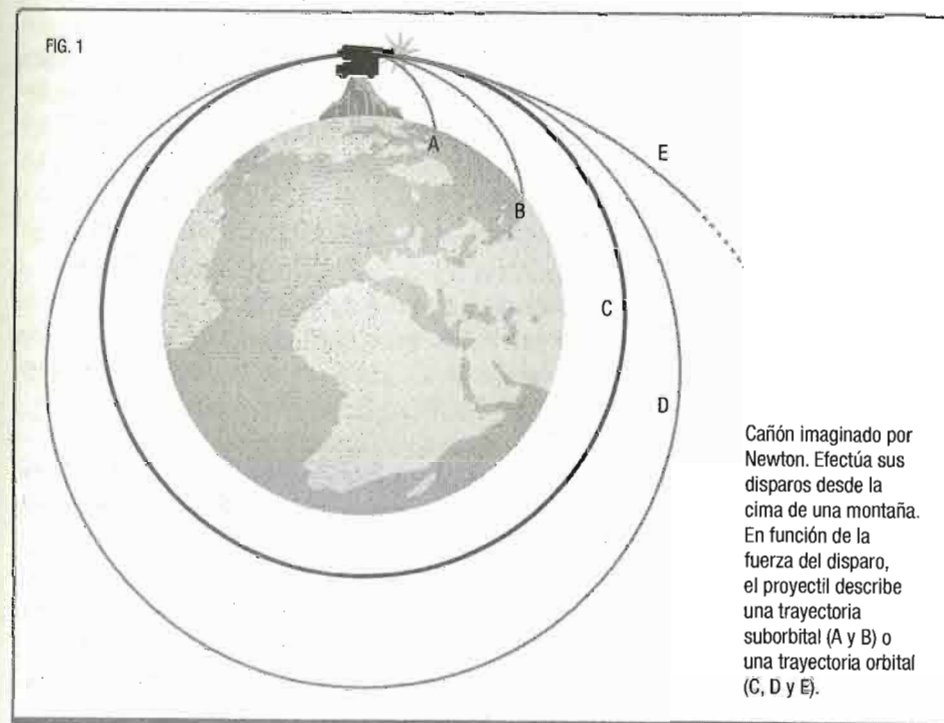
En 1679, Newton continuó sus trabajos sobre mecánica celeste, teniendo en cuenta la gravitación y sus efectos en relación con las leyes que Johannes Kepler había enunciado sobre el movimiento planetario. Newton concluyó que la forma elíptica de las órbitas de los planetas era producto de una fuerza centrípeta inversamente proporcional al cuadrado de su radio.

El 5 de julio de 1687, Newton publicó su libro *Philosophiae naturalis principia mathematica* (*Principios matemáticos de filosofía natural*) con la ayuda financiera del astrónomo Edmond Halley. En dicho libro, Newton expresó las tres *leyes universales del movimiento*, las cuales describen la relación entre un objeto, las fuerzas que actúan sobre él y el movimiento resultante, sentando las bases de la mecánica clásica. Tales leyes dicen así:

- Primera ley, o *ley de la inercia*: un objeto permanece en reposo o con movimiento uniforme y rectilíneo a menos que una fuerza externa actúe sobre él.
- Segunda ley, o *principio fundamental de la dinámica*: la suma de las fuerzas sobre un objeto es igual a la masa del objeto multiplicada por la aceleración.
- Tercera ley, o *principio de acción y reacción*: cuando un cuerpo ejerce una fuerza sobre un segundo cuerpo, este último ejerce de manera simultánea una fuerza igual en magnitud y dirección, pero opuesta en sentido sobre el primero.

En *Philosophiae naturalis principia mathematica*, Isaac Newton formuló asimismo la ley que describe la interacción gravitatoria entre diferentes cuerpos dotados de masa, sobre la base de las observaciones empíricas que él mismo realizó. Conocida como *ley de la gravitación universal*, su enunciado dice así: «La fuerza ejercida entre dos cuerpos de diferente masa separados entre sí es proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia». Con esta ley, Newton pudo dar finalmente forma completa a las leyes de Kepler.

Otra importante idea de Newton plasmada en esa obra se refiere a cómo un cuerpo puede orbitar en torno a otro, y para explicarlo de un modo lo más claro posible expuso el caso hipotético de un cañón muy potente ubicado sobre una montaña altísima (figura 1). Disparando un proyectil en dirección horizontal, este puede viajar cada vez más lejos antes de caer, si la poten-



La sabiduría suprema es tener sueños bastante grandes para no perderlos de vista mientras se persiguen.

WILLIAM FAULKNER

más y más lejos de la superficie terrestre.

Después de una vida repleta de geniales aportaciones a la ciencia, Isaac Newton falleció en Londres el 31 de marzo de 1727.

VELOCIDADES CÓSMICAS

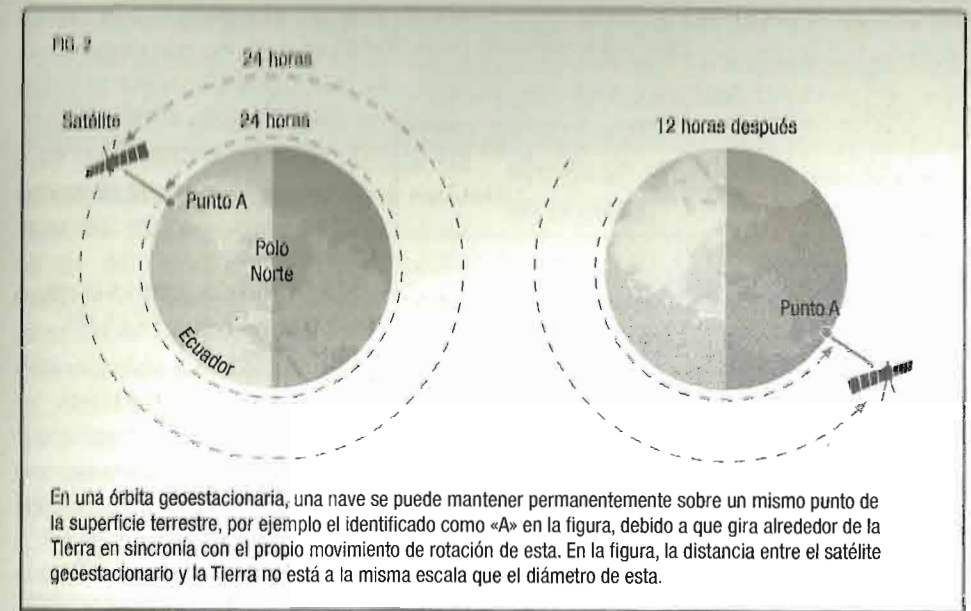
Las leyes de Johannes Kepler e Isaac Newton sirvieron para entender el movimiento de los planetas, y son igualmente básicas para lanzar cualquier ingenio al espacio exterior, dado que a partir de ellas se pudo calcular la velocidad que un cuerpo necesita para entrar en órbita, explorar otros cuerpos celestes o internarse en las profundidades del espacio exterior.

Primera velocidad cósmica, o de satelización

Se entiende por *velocidad de satelización* la velocidad mínima necesaria con la que un objeto debe ser lanzado desde un cuerpo celeste para que lo orbite y no caiga sobre él, al alcanzarse un equilibrio entre la fuerza centrífuga, que tiende a alejar el objeto del astro, y la fuerza gravitatoria de este último, que lo atrae.

En el caso de nuestro planeta, la velocidad mínima de satelización es de 7,9 km/s, es decir, unos 28440 km/h (algo más de 23 veces la velocidad del sonido), la cual se mantiene hasta una altitud aproximada de 200 km, disminuyendo a medida que esta aumenta. Así, a unos 35700 km sobre el ecuador de la superficie terrestre, la velocidad orbital es de 3,1 km/s, y un objeto a esa altitud y velocidad entraría en sincronía con la rotación de la Tierra, por lo que, para un observador situado en la superficie

cía del disparo aumenta lo suficiente. Llega un momento en que el vuelo se prolonga tanto que el proyectil completa una vuelta entera al mundo, sin iniciar su caída; ha entrado en órbita. A mayores potencias de disparo, la órbita del proyectil puede llevarlo



terrestre, se mostraría aparentemente inmóvil (figura 2). Esta órbita es conocida como *órbita geoestacionaria* o *geosincrónica*, y es muy útil para posicionar en ella ingenios que deban realizar un seguimiento continuo de una determinada zona del globo, o mantener las comunicaciones entre dos o más puntos situados en una zona determinada del planeta. Por tanto, la órbita geoestacionaria es utilizada principalmente por satélites meteorológicos y de comunicaciones. En la tabla superior de la página siguiente se muestran las velocidades orbitales necesarias para mantener en órbita un objeto a distintas altitudes. La más baja, a ras de suelo, solo sería posible en ausencia de atmósfera y suponiendo que la Tierra fuera una esfera lisa perfecta y homogénea.

Segunda velocidad cósmica, o de escape

Se trata de la velocidad mínima necesaria con la que debe lanzarse un cuerpo desde la Tierra u otro objeto celeste para escapar

Velocidades orbitales en función de la altitud

Órbita	Distancia (centro a centro)	Altitud sobre la superficie terrestre	Velocidad	Periodo orbital
Sobre la superficie terrestre (ecuador)	6 378 km	0 km	7,9 km/s	1 h 24 min 18 s
Terrestre baja	De 6 600 a 8 400 km	De 200 a 2 000 km	Órbita circular: de 6,9 a 7,8 km/s Órbita elíptica: de 6,5 a 8,2 km/s	Entre 1 h 29 min y 2 h 8 min
Molniya	De 6 900 a 46 300 km	De 500 a 39 900 km	De 1,5 a 10 km/s	11 h 58 min
Geostacionaria o geosincrónica	42 000 km	35 786 km	3,1 km/s	23 h 56 min
De la Luna	De 363 000 a 406 000 km	De 357 000 a 399 000 km	De 0,97 a 1,08 km/s	27,3 días

Velocidades de escape en los principales cuerpos celestes del sistema solar

Cuerpo celeste	Velocidad de escape (km/s) con relación a su propia gravedad
Sol	617,5
Mercurio	4,3
Venus	10,3
Tierra	11,2
Luna	2,4
Marte	5,0
Júpiter	59,6
Saturno	35,6
Urano	21,3
Neptuno	23,8
Plutón	1,2

de su atracción gravitatoria definitivamente y entrar en órbita solar. En la tabla inferior de la página anterior se indican varias de ellas.

En el caso de la Tierra, la *velocidad de escape* está influenciada de forma significativa por la de la rotación del planeta, que en el ecuador es de 465 m/s. Un cohete lanzado tangencialmente hacia el este desde

el ecuador precisaría de una velocidad de escape de 10,7 km/s con relación a la Tierra, mientras que si es lanzado hacia el oeste, dicha velocidad debe ser de 11,7 km/s con relación a nuestro planeta. Se considera, por tanto, que la velocidad media de escape desde el ecuador terrestre es de 11,2 km/s o 40 300 km/h aproximadamente (unas 33 veces la velocidad del sonido).

La velocidad de rotación de la superficie terrestre disminuye con el aumento de la latitud (tanto hacia el norte como hacia el sur). Para lanzar un objeto al espacio desde latitudes mayores, sería necesario imprimir a este una mayor velocidad de partida, lo que se traduciría en un gasto superior en combustible. Ese es el principal motivo por el que los centros de lanzamiento de cohetes se encuentran lo más próximos posible al ecuador terrestre. Ejemplos de ello son los complejos de Cabo Cañaveral en Estados Unidos y Kourou en la Guayana Francesa.

Tercera velocidad cósmica, o interestelar

Se trata de la velocidad necesaria para que un objeto lanzado desde la Tierra u otro cuerpo del sistema solar abandone definitivamente su campo gravitatorio y también deje de estar sujeto a la atracción del Sol, convirtiéndose así en un cuerpo capaz de abandonar nuestro sistema planetario y adentrarse en el espacio profundo, orbitando en torno a la Vía Láctea, nuestra galaxia. En el caso de la Tierra, esta velocidad se sitúa en 42 km/s, unos 151 200 km/h (aproximadamente 123 veces la velocidad del sonido). La humanidad ya dispone de diversos vehículos en esta trayectoria.

Mira a las estrellas, pero no te olvides de encender la lumbre en el hogar.

PROVERBIO ALEMÁN

Cuarta velocidad cósmica, o intergaláctica

Se entiende por *cuarta velocidad cósmica* la necesaria para que un objeto lanzado desde la Tierra u otro astro abandone el campo gravitatorio de la Vía Láctea y se interne en el espacio intergaláctico. En el caso de la Tierra, esta velocidad es de 350 km/s, es decir, alrededor de 1 260 000 km/h (algo más de 1 029 veces la velocidad del sonido).

CAPÍTULO 2

Preludio e inicio de la aventura del espacio

Las leyes de Kepler y Newton sentaron las bases teóricas del vuelo espacial. El surgimiento de la cohetaría, de los primeros estudios rigurosos sobre astronáutica, así como de la evolución tecnológica propiciada por las guerras mundiales, evidenciaban que la humanidad se encontraba en la antesala de las primeras experiencias espaciales.

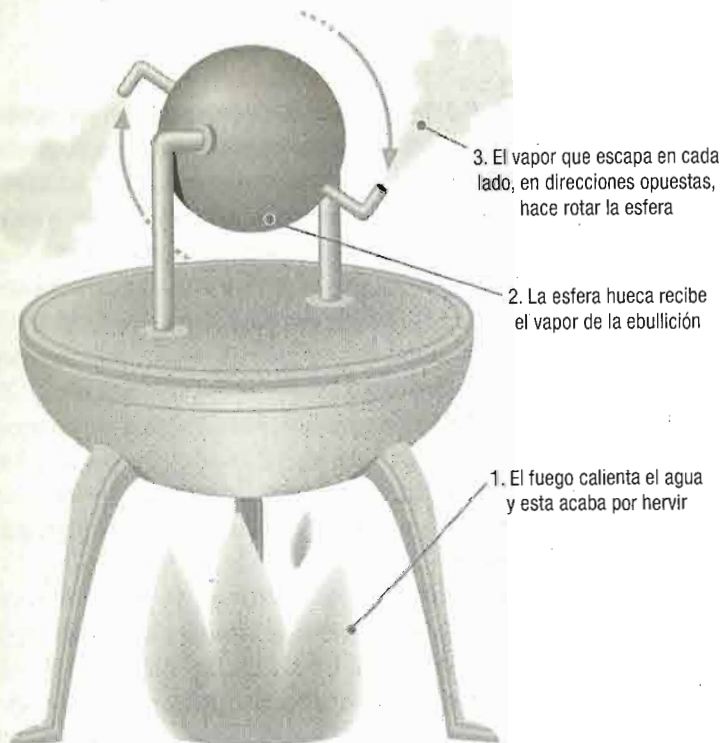
Los potentes lanzadores que hoy en día son capaces de enviar ingenios a lugares remotos de nuestro sistema solar son el producto de más de dos mil años de descubrimientos, invenciones y experimentaciones. La utilización del principio de acción y reacción se remonta a siglos antes de que Isaac Newton enunciara su tercera ley. Encontramos un ejemplo de ello en la obra *Noctes atticae* (*Noches áticas*). En ella, el escritor romano Aulo Gelio (ca. 125-180 d.C.) mencionaba un artefacto cuya construcción atribuía al filósofo griego Arquitas de Tarento (428-347 a.C.). En esencia, la descripción del objeto era la de una figura de madera cuya morfología se asemejaba a la de una paloma, suspendida de un hilo o cordel, la cual emitía vapor por unos pequeños orificios. La presión hacía moverse a la paloma en sentido opuesto al de los chorros de vapor.

En el siglo I a.C. encontramos otra referencia al uso del vapor de agua en la obra *De architectura* (*Sobre arquitectura*), escrita por Vitruvio (ca. 80 a.C.-ca. 15 d.C.). En ella describe un ingenio llamado *eolípilo*, un recipiente construido en cobre dotado de orificios, el cual se llenaba de agua y se calentaba hasta que esta entraba en ebullición, lo que provocaba que el vapor

fuera expulsado violentamente a través de ellos. Una versión de este artefacto es citado en la obra *Pneumatica (Neumática)*, en la que el matemático y físico griego Herón de Alejandría (ca. 10-70 d.C.) describía un invento suyo que, igualmente, empleaba el vapor como sistema de propulsión. Se trataba de una esfera hueca, presumiblemente construida también en cobre, a la que de igual manera llamaba eolípilo, que giraba alrededor de un eje gracias a dos chorros de vapor emitidos por unos quemadores en forma de «L», dispuestos de forma tangencial a la esfera (figura 1). Curiosamente, el invento de Herón fue considerado un simple instrumento de diversión. Su potencial no fue reconocido hasta transcurridos mil años.

FIG. 1

Esquema simplificado del funcionamiento del eolípilo construido por Herón de Alejandría.



EL NACIMIENTO DE LA COHETERÍA

La cohetería está estrechamente relacionada con la pólvora negra, cuya invención tiene un origen desconocido, aunque muchos historiadores científicos se la atribuyen a los chinos en virtud de los testimonios escritos dejados por dicha civilización y por los de los primeros europeos que se asentaron en aquellas tierras, en los que se hace alusión a la pólvora, si bien las únicas referencias que describen el carácter explosivo de esta datan de los primeros años del siglo x, lo que no quiere decir que no se empleara previamente en la propulsión de cohetes. Según algunos registros, ya en el siglo xiii las *flechas de fuego* propulsadas estaban bastante extendidas por China, siendo utilizadas en conflictos bélicos como la batalla de Kaifeng (conocida entonces como Bianjing), en el año 1232.

El uso de la pólvora y de los cohetes se extendió por todo el mundo entre los siglos xiii y xviii, constituyéndose desde entonces y hasta la actualidad en la base del sistema armamentístico de todos los países del globo, desde las simples armas de mano hasta los proyectiles de gran envergadura. Con la introducción de otros combustibles como el keroseno y el oxígeno e hidrógeno líquidos, la cohetería amplió su espectro, abarcando no solo el ámbito armamentístico sino también el científico (especialmente con la exploración del espacio).

LOS PADRES DE LA ASTRONÁUTICA

A partir de finales del siglo xix surgieron los primeros trabajos científicos que describían con gran nivel de detalle el procedimiento que se debía seguir para llevar a cabo los vuelos espaciales y las necesidades de infraestructura que estos precisarían decenas de años después de su publicación. Sus autores son considerados hoy en día los *padres* de la *astronáutica*, un término que aglutina a todas las disciplinas científicas y técnicas, así como aquellos aspectos de la actividad humana, cuya cooperación es necesaria para materializar el concepto de vuelo espacial.

Konstantín Eduárdovich Tsiolkovski

Tsiolkovski nació el 17 de septiembre de 1857 en Izhévkoye (al sur de San Petersburgo, Rusia), en el seno de una familia humilde deportada de Polonia. Con diez años enfermó de escarlatina, cuyos efectos derivaron en una pérdida casi total de la audición, lo que le privó de ir a la escuela (en aquel entonces, sordos, mudos y ciegos eran considerados *anormales* y solían ser rechazados en las escuelas por sus discapacidades). Su madre, María Yumasheva, le enseñó a leer y a escribir, y su carácter autodidacta le llevó a adquirir conocimientos de matemáticas y física gracias a la biblioteca de su padre, Edward Tsiolkovski. Llegó a ser profesor en Kaluga, donde compaginaba su labor de educador con la adquisición de nuevos conocimientos, inspirado por las novelas de Julio Verne.

En 1883 publicó *El espacio libre*, obra en la que exponía la idea de emplear el principio de la propulsión a reacción para la realización de desplazamientos en el vacío del espacio. En 1903 publicó *La exploración del espacio cósmico con la ayuda de ingenios a reacción*, un trabajo en el que introdujo una fórmula matemática, a partir de entonces conocida como *fórmula de Tsiolkovski*, que establecía la relación entre la velocidad del cohete, la velocidad de escape del gas y la masa del cohete y su combustible. Esta fórmula es tenida en cuenta hoy en día en el diseño de los vuelos al espacio.

Tsiolkovski fue el primer científico en vislumbrar la construcción de satélites y estaciones espaciales en órbita terrestre. Tras una larga vida dedicada a la teoría de la exploración del espacio, falleció en Kaluga el 19 de septiembre de 1935.

Robert Hutchings Goddard

Un año antes de que Tsiolkovski publicara *El espacio libre*, nacía Robert Goddard, otro de los padres de la astronáutica. Si bien el primero dedicó su vida a desarrollar la teoría, Goddard fue el primer científico que realizó experimentos prácticos en

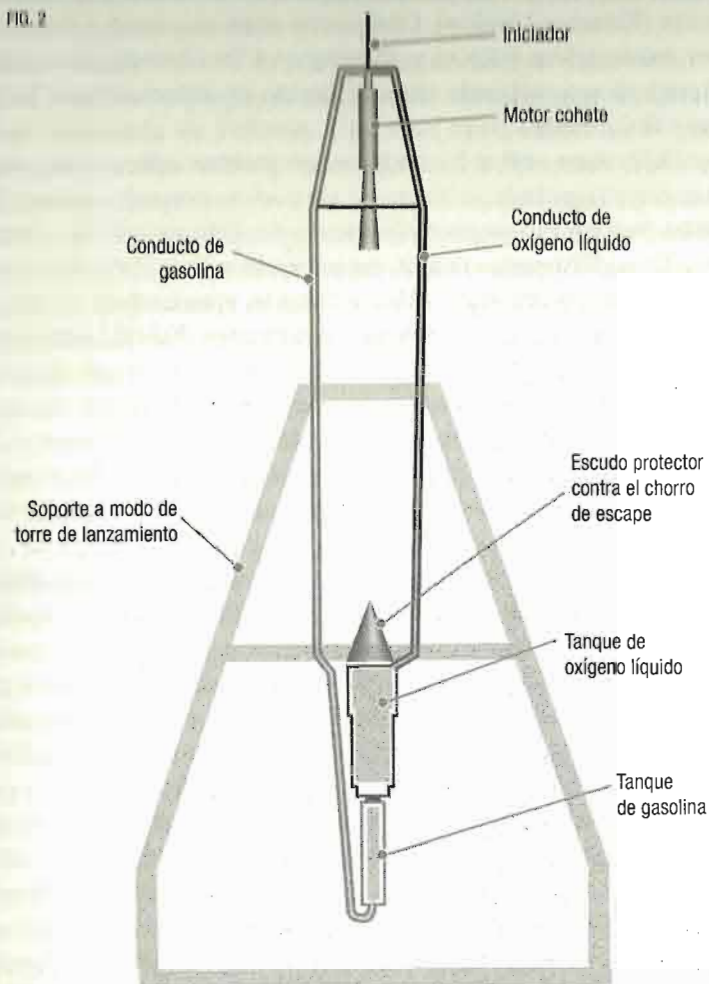
cohetaría. Nació el 5 de octubre de 1882 en Worcester, Massachusetts (Estados Unidos). Con pocos años comenzó a despuntar en matemáticas y física y, al igual que Tsiolkovski, se vio influenciado por novelas de ciencia ficción de autores como Julio Verne y H.G. Wells.

En 1899 comenzó a formularse preguntas sobre cómo sería un viaje tripulado a Marte, y tres años después, mientras cursaba sus estudios en el Instituto de Educación Secundaria South en Worcester, envió un artículo a la revista *Popular Science Monthly* titulado «Navigation in space» («La navegación en el espacio»), que no llegó a publicarse. En 1911 adquirió el grado de doctor por la Universidad Clark, de la que llegó a ser profesor de física. Durante su paso por la facultad, sus estudios indicaron que el hidrógeno y el oxígeno líquidos constituían el *propergol* perfecto (de hecho, hoy en día se utiliza esta combinación combustible/comburente en muchos sistemas de propulsión).

En septiembre de 1916 solicitó una subvención de 10 000 dólares al Instituto Smithsonian para desarrollar un programa de investigación con cohetes a gran altitud, recibiendo finalmente la mitad de dicha financiación. El memorándum que presentó para cursar la petición fue publicado cuatro años después con el título «A method of reaching extreme altitudes» («Un método de alcanzar altitudes extremas»). A pesar de contar con un presupuesto reducido, sus progresos fueron notables, y el 16 de marzo de 1926 lanzó con éxito el primer cohete de combustible líquido de la historia (figura 2), aunque su proeza no llamó excesivamente la atención. Tres años después lanzó un nuevo cohete, esta vez portando un instrumento científico, un barógrafo, que mide la presión de forma continua. En 1935, en tierras próximas a Roswell, Nuevo México, logró que uno de sus cohetes rompiera la barrera del sonido.

Goddard colaboró con el ejército estadounidense en el marco de las dos guerras mundiales, ofreciendo sus avanzados conocimientos en propulsión y guiado. Falleció el 10 de agosto de 1945, cuatro días después del lanzamiento sobre Japón de la primera bomba atómica.

FIG. 2



Esquema simplificado del primer cohete de combustible líquido de la historia que logró despegar. Lo que podríamos definir como el cohete propiamente dicho estaba en la parte superior, recibiendo por conductos separados combustible (gasolina) y comburente (oxígeno) del conjunto de tanques de abajo. Los tanques se protegían del chorro ardiente del motor cohete mediante un escudo metálico con forma cónica. Esta configuración, con el motor cohete arriba y los depósitos abajo, era opuesta a la que tienen los cohetes modernos. Para el despegue, el vehículo se colocaba en un soporte que lo mantenía en la posición correcta y que servía de torre de lanzamiento primitiva.

Hermann Noordung / Herman Potočnik

Otra importante figura de la astronáutica, aunque no lo suficientemente reconocida, es Herman Potočnik. Nació el 22 de diciembre de 1892 en la localidad austro-húngara de Pola (posteriormente conocida como Pula), hoy perteneciente a Croacia. Perdió a su padre cuando no había cumplido los dos años de vida, y su familia se trasladó a Marburgo (posteriormente Máribor), perteneciente en la actualidad a Eslovenia, donde cursó estudios de primaria. Más tarde, ingresó en las escuelas militares de secundaria en Fischau (sur de Austria) y Mährisch-Weißkirchen (posteriormente la ciudad checa de Hranice), quizá animado por su tío Heinrich, mayor general del Ejército. Entre los años 1910 y 1913 estudió en la Academia Técnica Militar de Mödling, cerca de Viena, graduándose como segundo teniente en el Cuerpo de Ingenieros.

Potočnik contribuyó económicamente a la publicación de la revista de la Sociedad Alemana para el Viaje Espacial, y mantuvo correspondencia con Hermann Oberth, otra destacada figura de la astronáutica. Animado por él, publicó a finales de 1928 en Berlín (bajo el pseudónimo de Hermann Noordung) su único libro conocido, *Das problem der befahrung des weltraums: der raketen-motor* (*El problema del viaje espacial: el motor cohete*), una obra de 188 páginas e ilustraciones realizadas a mano por él mismo, en la que describía su idea de cómo se realizarían los viajes al espacio y cómo se establecería una presencia humana permanente en él. Para lograrlo, diseñó con gran detalle una estación espacial, con forma toroidal (véase la imagen de la pág. 43), destinada a ser colocada en órbita geoestacionaria, describiendo incluso el proceso de su construcción. Los historiadores espaciales consideran la estación de Potočnik como el primer diseño arquitectónico para el espacio. Dicho diseño contaba con la producción de un ambiente de gravedad artificial generado por la rotación de la estación sobre su propio eje en el plano horizontal. En su libro también abordó cuestiones sobre la puesta en órbita de ingenios para la observación de la Tierra con fines tanto pacíficos como milita-

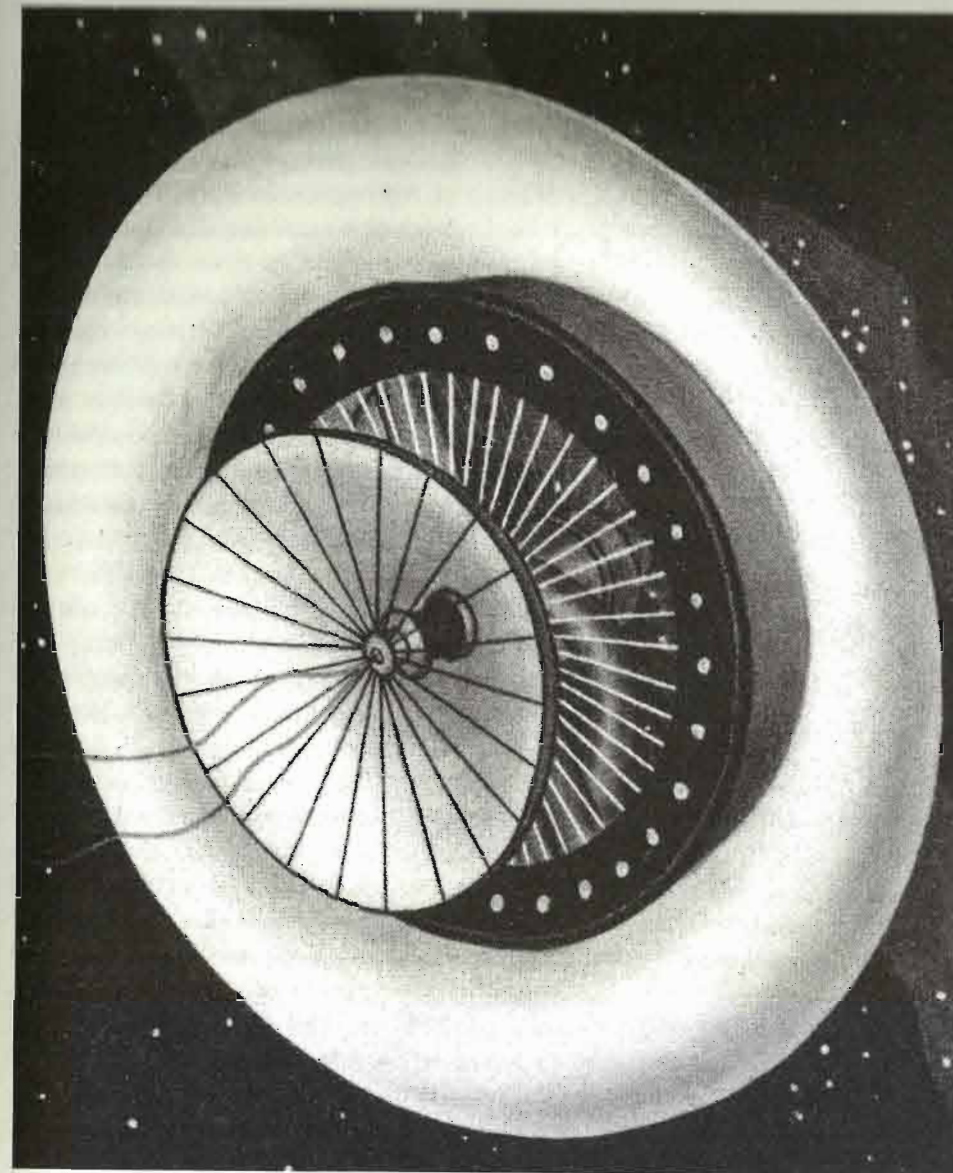
res, y el uso de la radio como método de comunicación entre las naves espaciales y la superficie terrestre.

El libro de Potočnik influyó notablemente en ingenieros como Serguéi Koroliov y Wernher von Braun. Este último empleó el diseño de Potočnik como base para desarrollar su propio concepto de estación espacial. El 27 de agosto de 1929, Herman Potočnik falleció en Viena. A pesar de su privilegiada mente, vivió sus últimos días en la extrema pobreza.

Hermann Oberth

Hermann Oberth nació el 25 de junio de 1894 en la localidad de Sibiu, Rumania (originalmente Hermannstadt, Transilvania). Al igual que le ocurrió a Tsiolkovski, Oberth sufrió de escarlatina con pocos años de edad, y sus padres le trasladaron a Italia para recibir tratamiento. Durante su estancia en tierras italianas, leyó la novela de Verne, *De la Tierra a la Luna*, y comenzó a interesarse por los vuelos al espacio.

Con dieciocho años, Oberth viajó a Alemania e ingresó en la Escuela de Medicina de Múnich, aunque sus estudios quedaron truncados por el estallido de la Primera Guerra Mundial, siendo enviado a una unidad médica en el frente. Allí comprobó que su vocación no era la medicina, y decidió regresar a la universidad para estudiar matemáticas y física, investigando sobre la atracción gravitatoria y el potencial de los combustibles líquidos para la cohetaría, explorando la viabilidad de construir cohetes de varias etapas. Presentó su tesis doctoral en 1922, aunque fue rechazada. Un año después, publicó el primer borrador de su obra *Die rakete zu den planetenräumen* (*El cohete en el espacio interplanetario*), que después amplió que posteriormente amplió, publicándose en 1929 con el título *Wege zur raumschiffahrt* (*Los métodos del vuelo espacial*), obteniendo un amplio reconocimiento a escala internacional. Ese mismo año fue consultor científico de la película *Frau im Mond* (*Una mujer en la Luna*), de Fritz Lang, y realizó una prueba estática de encendido de su cohete de combustible líquido, siendo ayudado en este ex-



El hábitat de la estación espacial, de forma toroidal, diseñada por Herman Potočnik. Se trata de uno de los tres componentes de la estación, además de la sala de máquinas y el observatorio, todos ellos conectados mediante cordones umbilicales. Funcionaría mediante energía solar, captada por el espejo cóncavo situado en el centro.

perimento por un joven llamado Wernher von Braun, quien años después se convertiría en figura clave en el programa espacial estadounidense.

La Tierra es la cuna de la humanidad, pero nadie puede permanecer para siempre en la cuna.

KONSTANTÍN TSIOLKOVSKI

En 1941, Oberth se trasladó a Peenemünde para trabajar en el programa Aggregat con Von Braun, en el marco del cual fue diseñado el famoso cohete V2. Tras el final de la Segunda Guerra Mundial, marchó a Suiza, donde trabajó como consultor

independiente en temas relacionados con la astronáutica. Durante las décadas de 1950 y 1960 viajó a Estados Unidos para trabajar con Von Braun en el programa espacial de la NASA. Hermann Oberth falleció en Núremberg, Alemania, el 28 de diciembre de 1989, poco después de la caída del Muro de Berlín.

ACARICIANDO LOS LÍMITES DE LA ATMÓSFERA

Las primeras experiencias de vuelos a gran altitud realizadas entre finales del siglo XIX y principios del XX demostraron que era necesario contar con un sistema de soporte vital para enfrentarse al ambiente de baja presión y escaso oxígeno de las capas altas de la atmósfera. El primer concepto serio de desarrollo de un traje presurizado vino de la mano del estadounidense Fred Sample, quien patentó su denominado *traje para aviadores* en 1918. Se trataba de un traje inflable con casco metálico, que contrarrestaba el efecto de la ausencia de presión. El 27 de mayo de 1931 y al otro lado del Atlántico, el profesor suizo Auguste Piccard y su asistente Charles Knipfer se convertían en los primeros humanos en adentrarse en la estratosfera mediante un globo provisto de una rudimentaria góndola presurizada. Estas experiencias demostraron que era más práctica la utilización de trajes individuales que lanzar pesadas góndolas presurizadas. Los estadounidenses Mark Ridge y Wiley Post, y el español Emilio Herrera Linares, fueron los máximos exponentes en el desarrollo de trajes presurizados para su uso en la estratosfera.

Emilio Herrera: el estratonauta español

Emilio Herrera nació en Granada el 13 de febrero de 1879, en el seno de una familia de militares. Siguiendo la tradición, en 1896 ingresó en la Academia de Ingenieros Militares, graduándose cinco años después. Durante tres décadas sirvió como piloto de globos, dirigibles y aeroplanos, pero desde siempre sintió un especial interés por la exploración del espacio.

A lo largo de su vida desarrolló teorías, algunas de las cuales tuvo oportunidad de experimentar en las instalaciones del Laboratorio Aerodinámico de Cuatro Vientos (Madrid). En 1933 programó un estudio de las capas altas de la atmósfera con el que pretendía, entre otras cosas, medir la radiación cósmica reinante en la estratosfera. Al objeto de poner en práctica dicho programa, diseñó un traje presurizado, considerado uno de los precursores de los actuales trajes espaciales. Su vuelo de prueba, realizado a bordo de un aerostato, estaba previsto para otoño del año 1936, pero el estallido de la guerra civil española truncó sus planes. Su traje quedó reducido a jirones durante la contienda. El éxito de sus pruebas en la cámara hipobárica de Cuatro Vientos apunta a que podría haber funcionado correctamente en la estratosfera.

Tras el final de la Guerra Civil, se vio obligado a abandonar España, ostentando el título de Presidente de la República Española en el Exilio, aunque en ningún momento abandonó sus investigaciones. Vivió en Francia, donde tuvo la oportunidad de trabajar en la Oficina Nacional de Experimentación e Investigación Atmosféricas (ONERA, por sus siglas en francés). Sus avanzados conocimientos y conceptos sobre aeronáutica y el espacio llamaron la atención del Tercer Reich de Adolf Hitler y, años más tarde, de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA, por sus siglas en inglés). Esta última le propuso trabajar en el marco del programa destinado a enviar a los primeros humanos a la superficie de la Luna. Se dice de Herrera que declinó la propuesta cuando la agencia espacial rechazó su condición de que la bandera de la República Española ondeara junto a la estadounidense en la superficie lunar. Emilio Herrera

LA ESCAFANDRA ESTRATONÁUTICA DE EMILIO HERRERA

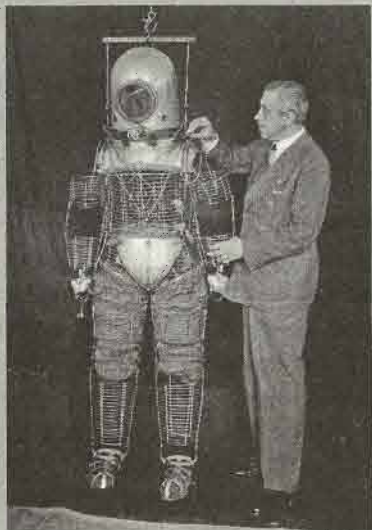
Diseñada a principios de la década de 1930, la *escafandra estratonáutica* de Emilio Herrera supuso toda una revolución tecnológica. La NASA y otros organismos internacionales del sector espacial consideran este prototipo, destinado a la exploración de las altas capas de la atmósfera, como uno de los antecesores de los actuales trajes que los astronautas emplean para pasear por el espacio.

Protección contra las inclemencias de la estratosfera

Para lograr explorar el ambiente con escaso aire existente en la estratosfera, la *escafandra* de Herrera estaba dotada de varios componentes que garantizaban el soporte vital básico. El primero de ellos era un traje interior de lana, que cubría todo el cuerpo desde los pies al cuello, y que servía, en buena medida, para regular la temperatura del ocupante. Un segundo traje, este de caucho, proporcionaba estanqueidad y mantenía constante la presión en su interior. Un tercer traje de tela de alta resistencia, capaz de soportar 3 toneladas por metro cuadrado de presión y reforzado por un zunchado de cables de acero, evitaba que el traje de caucho se expandiera con la presión del aire, lo cual habría impedido que el ocupante pudiera moverse sin restricciones. Un revestimiento de tisú de plata cubría todo el conjunto, con el propósito de reflejar los rayos solares y evitar que la temperatura interior alcanzase cotas demasiado altas.

El casco y otros instrumentos de seguridad

Otro componente importante era el casco, elaborado en acero y forrado en su interior de fieltro. Se encontraba recubierto de chapa de aluminio pulimentado, y en su parte central anterior contaba con una ventana circular provista de tres cristales transparentes. El primero de ellos era resistente a impactos, mientras que el segundo y el tercero ofrecían protección contra las radiaciones ultravioleta e infrarroja, respectivamente. Entre los dos últimos existía una cámara de vacío. Asimismo, el cristal interior contaba con un revestimiento que prevenía la condensación. El casco se unía al traje de caucho a la altura del cuello, contando con una junta de acoplamiento que garantizaba así la estanqueidad. Una palanca de presión liberaba y fijaba el casco al traje. La *escafandra* contaba igualmente con otros instrumentos de vital importancia, como barómetros (interior y exterior), termómetros (interior y exterior), un aparato inhalador, conectado a un depósito de oxígeno, el cual absorbía el dióxido de carbono exhalado por el ocupante, y un transceptor dúplex para las comunicaciones con el exterior.



falleció en Ginebra (Suiza) el 13 de septiembre de 1967, siendo sus investigaciones y estudios en el campo aeroespacial más reconocidos en el ámbito internacional que en su propio país.

LOS ALBORES DEL VUELO ESPACIAL

En los últimos años de la Segunda Guerra Mundial, y aun habiendo perdido fuerza y posiciones en el escenario europeo, el Tercer Reich sorprendió al mundo al desvelar la posesión de una serie de asombrosos artefactos producto de la avanzada tecnología desarrollada por sus ingenieros y científicos. Su gran capacidad de destrucción, y no su sofisticación tecnológica, es la característica principal por la cual serán siempre recordados.

Tales avances tecnológicos no pasaron inadvertidos para aquellos países que luchaban contra los nazis, especialmente para Estados Unidos y la Unión Soviética, quienes desarrollaron planes para capturar a ingenieros y científicos alemanes y requisar algunas de sus creaciones con el propósito de adquirir conocimientos y experiencia de cara a mejorar sus respectivas capacidades armamentísticas. Tales planes se pusieron en práctica a lo largo de 1945.

Los conocimientos atesorados por científicos e ingenieros alemanes eran de un valor incalculable. No solo eran expertos en el plano de la cohetaría, también lo eran en la construcción de túneles de viento y en la producción de nuevos materiales, lo que permitió tanto a estadounidenses como a soviéticos establecer una serie de infraestructuras que sentaron las bases de un sólido desarrollo científico y tecnológico. A pesar de la orden dada por el entonces presidente Dwight Eisenhower de no negociar con ninguna persona vinculada al partido nazi, se aprobó la entrada en territorio estadounidense de cien alemanes. Poco tiempo después, el número creció hasta situarse en los setecientos. Entre ellos se encontraba Wernher von Braun, el padre del cohete V2, quien veía en su entrega al ejército de Estados Unidos la vía para conseguir su propósito fundamental, explorar el espacio de manera pacífica con su lanzador.

WERNHER VON BRAUN, EN ALEMANIA

Wernher von Braun nació el 23 de marzo de 1912 en Wirsitz, Prusia (hoy Wyrzysk, Polonia), en el seno de una familia de nobles. En 1925 ingresó en un colegio interno cerca de Weimar, donde sus calificaciones en física y matemáticas eran bastante deficientes. Su pasión por el espacio nació a raíz de leer el libro *Die rakete zu den planetenräumen* (El cohete en el espacio interplanetario), escrito por Hermann Oberth. A partir de entonces sus calificaciones mejoraron notablemente, logrando años más tarde la titulación de ingeniero y el doctorado en física.

Tiempos de terror

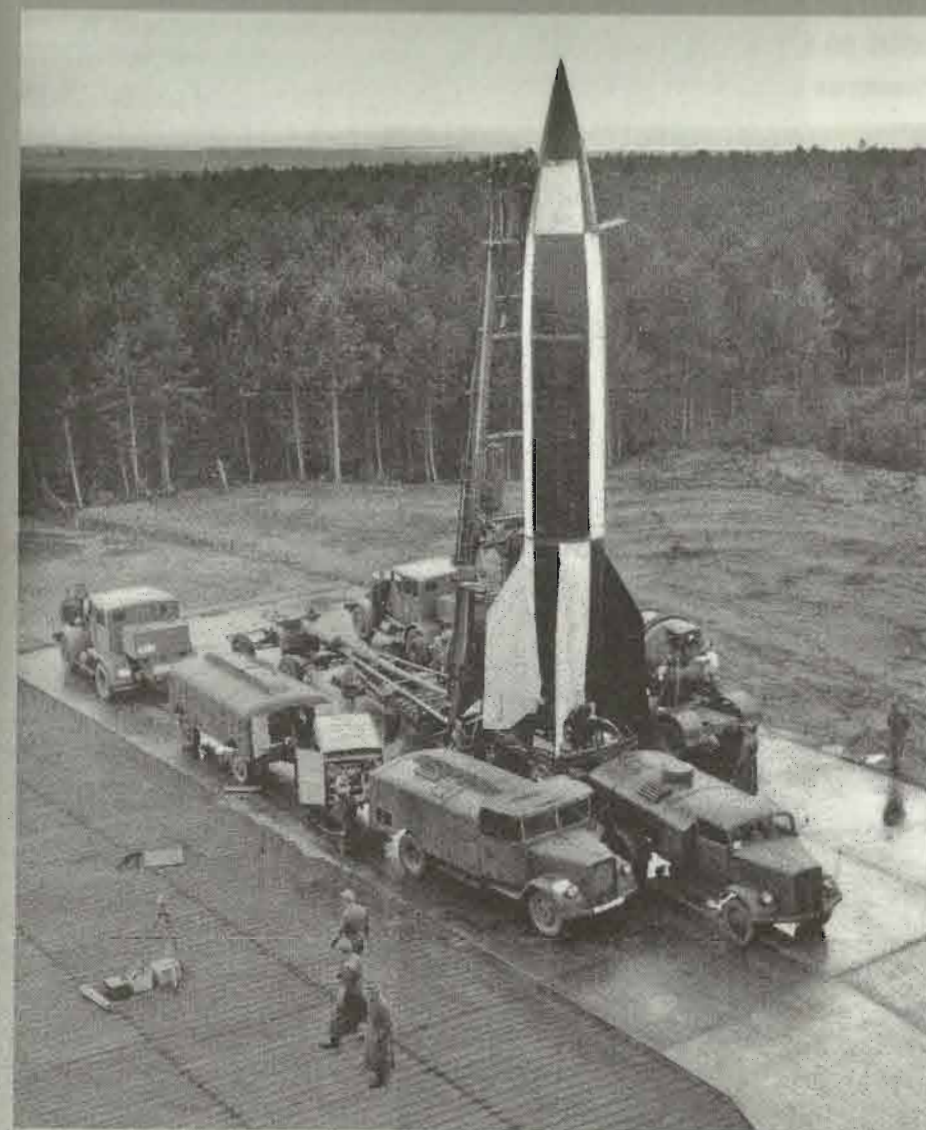
En 1933, los nazis ascendieron al poder y cualquier ámbito que tuviera aplicaciones militares se convirtió en una prioridad nacional. Mientras cursaba sus estudios superiores, Von Braun obtuvo una beca de la mano del capitán de artillería Walter Dornberger, con quien trabajó en los centros de experimentación de cohetes de Kummersdorf y Peenemünde. A partir de unos planos elaborados por Robert Goddard, Von Braun desarrolló los cohetes de la serie Aggregat (A), cuyo cuarto cohete, el A-4, conocido después como Vergeltungswaffe 2 (Arma de la Venganza 2) o V2, tendría un triste papel en la Segunda Guerra Mundial. Su producción fue llevada a cabo en una planta situada en Mittelwerk por los prisioneros del campo de concentración de Mittelbau-Dora. Von Braun quedó horrorizado por las condiciones a las que se sometía a los prisioneros y al ver que su cohete para viajar al espacio se había convertido en un instrumento mortal. Sus disensiones llevaron a Von Braun a prisión en 1944, acusado de sabotear sus V2 para impedir su lanzamiento, siendo liberado dos semanas después por mediación de Walter Dornberger.

De la oscuridad de la guerra a la luz de la ciencia

En la primavera de 1945, Wernher von Braun y su equipo de ingenieros de Peenemünde decidieron planear su entrega al ejército de Estados Unidos. Habiendo escapado a Austria, el 2 de mayo él y su equipo se rindieron a los soldados de la 44.ª División de Infantería de Estados Unidos. Una vez en territorio estadounidense, continuó trabajando en el V2 con fines no solo militares sino también científicos. Llegó a diseñar otros lanzadores, como los misiles Redstone y Jupiter, así como el Saturno V, con el que la NASA envió a los primeros humanos a la superficie de la Luna. Wernher von Braun falleció en Alexandria, Virginia, el 16 de junio de 1977.

El cohete V2

Se trataba de un cohete autoguiado de combustible líquido, capaz de alcanzar velocidades de 1.500 m/s. La trayectoria deseada era conseguida gracias a ocho veletas controladas individualmente, situadas en la tobera y en las aletas del cohete. Se propulsaba mediante oxígeno líquido y alcohol al 75 %, y podía ser lanzado en cualquier dirección desde una plataforma móvil. Al alcanzar velocidades supersónicas, no existía ningún sistema de detección ni de defensa contra él. Sembró el terror en localidades europeas como Londres y Amberes durante la Segunda Guerra Mundial.



Un cohete V2 capturado por el ejército británico en el marco de la operación militar Backfire.

El cohete funcionó perfectamente, excepto por el hecho de que aterrizó en el planeta equivocado.

WERNHER VON BRAUN, DESPUÉS DE QUE EL PRIMER V2 CAYESE SOBRE LONDRES

En 1945, los ingenieros y científicos alemanes comenzaron a trabajar en varias instalaciones militares de Estados Unidos, entre ellas Aberdeen (Maryland), Fort Bliss (Texas) y White Sands (Nuevo México), implementando el cohete V2 y

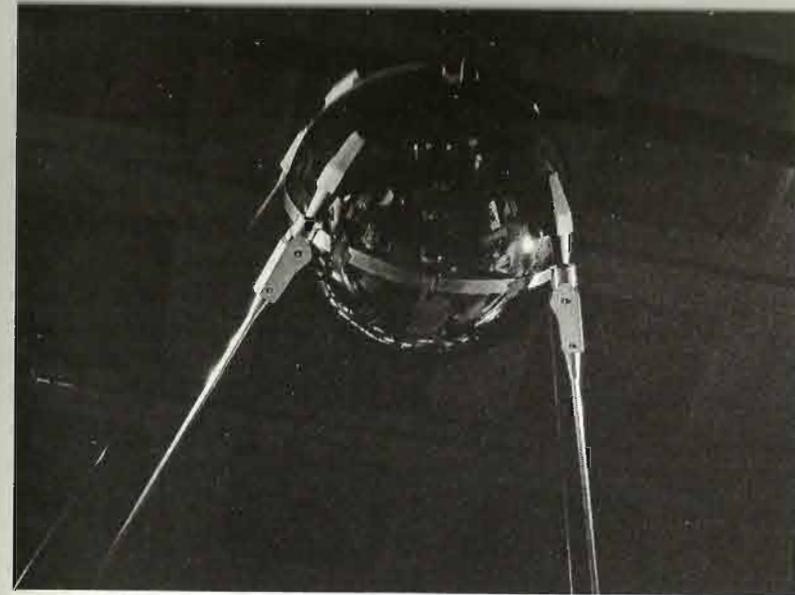
realizando experimentos científicos, algunos de los cuales estaban relacionados con la observación de la Tierra y de cuerpos celestes a gran altitud.

La primera luna artificial

En 1952, el entonces Consejo de Uniones Científicas decidió declarar el periodo comprendido entre el 1 de julio de 1957 y el 31 de diciembre de 1958 como *Año Geofísico Internacional*, dado que los científicos ya conocían por aquel entonces los ciclos de actividad solar, y sabían que en aquel periodo esta iba a ser intensa. En octubre de 1954, el Consejo adoptó una resolución mediante la cual se incentivaba el lanzamiento de satélites artificiales dentro de aquel periodo para elaborar un mapa terrestre.

En julio de 1955, la Casa Blanca anunció sus planes para poner un satélite en órbita alrededor de la Tierra durante el Año Geofísico Internacional, y solicitó propuestas a diversas agencias gubernamentales para llevar a cabo el proyecto, siendo elegida la propuesta Vanguard, presentada por el Laboratorio de Investigación Naval.

Mientras, en la URSS, y tras aplazar un proyecto aún más complejo (Object D), un equipo de ingenieros dirigidos por Serguéi Pávlovich Koroliov, un hombre entonces desconocido para Occidente, trabajaba en la construcción del primer satélite soviético, conocido como Sputnik (palabra rusa que significa «compañero de viaje» y más modernamente «satélite»), una esfera de aluminio de unos 58 cm de diámetro que disponía de cuatro antenas de casi tres metros de longitud (véase la fotografía superior de la página contigua). Dotado de instrumentos alojados en un com-



Arriba, reproducción a escala real del satélite Sputnik 1. La fotografía inferior muestra a la perra Laika antes de ser embarcada en el satélite Sputnik 2.

partimento hermético, el satélite debía obtener datos relacionados con la densidad de las capas superiores de la atmósfera, con la propagación de las señales de radio en la ionosfera y con la temperatura en el interior y en la superficie de la esfera. Entre sus instrumentos figuraban unos transmisores que operaban en los 20,005 y los 40,002 MHz (en una longitud de onda de 15 y 7,5 m aproximadamente). El satélite debía realizar sus transmisiones de forma periódica, con una duración de 0,3 s.

El 4 de octubre de 1957, la Unión Soviética lanzaba al espacio el Sputnik, inaugurando así lo que popularmente se conoce como *Era Espacial*. La noticia se propagó como la pólvora, y con sentimientos que mezclaban el miedo y la curiosidad, gentes de todo el mundo se reunían en torno a sus aparatos de radio para escuchar las señales emitidas por el satélite. La noticia sentó como un jarro de agua fría a los estadounidenses, que ultimaban los preparativos para el despegue de su satélite Vanguard.

Estados Unidos no había siquiera intentado lanzar su satélite cuando, el 3 de noviembre, la URSS volvía a marcar distancias con el lanzamiento del Sputnik 2. A diferencia de su predecesor, este satélite portaba en su interior a un ser vivo, la perra Laika (véase la fotografía inferior de la página anterior). Aunque el Sputnik 2 no estaba equipado para regresar a la Tierra, los soviéticos pensaban que la perra sobreviviría, al menos, varios días, pero el estrés sufrido por Laika y la elevación progresiva de la temperatura en el interior de la cabina propiciaron que la perra falleciera a las cinco horas del despegue.

El 6 de diciembre, Estados Unidos lanzó su satélite Vanguard. El cohete portador, bautizado con el mismo nombre, apenas se había elevado un metro cuando sufrió una explosión. Paradójicamente, el satélite sobrevivió al accidente y comenzó a emitir señales sobre el pavimento, a unos metros de la plataforma. Al conocer la noticia, algunos medios periodísticos bautizaron sarcásticamente al satélite estadounidense como *Kaputnik*.

Ante tal fracaso, la Casa Blanca dio luz verde a la propuesta que, años antes, había presentado Wernher von Braun, que consistía en el lanzamiento de un satélite, bautizado con el nombre de Explorer, a bordo de un lanzador Jupiter C, cuyo diseño esta-

ba basado en el cohete V2. Así, el 1 de febrero de 1958, el equipo de Von Braun lanzó con éxito el Explorer 1, un ingenio que, a lo largo de su misión, confirmó la existencia de unos cinturones de radiación que rodean la Tierra, conocidos como *Cinturones de Van Allen* en honor de su descubridor, James Van Allen. El Explorer 1 fue el primero de una larga serie de satélites destinados a cumplir cometidos muy diferentes, lanzados entre 1958 y 1975.

Los soviéticos continuaron marcando distancias con los estadounidenses en los años siguientes. En 1960, pusieron en marcha el programa Korabl Sputnik para probar un nuevo vehículo capaz de transportar seres vivos y hacerlos regresar con éxito a la Tierra. Así, el 19 de agosto de 1960, el Korabl Sputnik 2 partía al espacio con las perras Strelka y Belka, y con cuarenta ratones, que regresaron sanos y salvos a la Tierra al día siguiente. El Korabl Sputnik 3 no corrió la misma suerte, y sus tripulantes, las perras Pchelka y Mushka, murieron durante el regreso el 2 de diciembre. Los dos últimos vuelos, Korabl Sputnik 4 y 5, lanzados el 9 y el 25 de marzo de 1961, respectivamente, gozaron de éxito y sus tripulantes caninos, Chernushka (cuarta misión) y Zvezdochka (quinta misión), regresaron satisfactoriamente a la Tierra.

El lanzamiento del Sputnik supone para nosotros una derrota mayor que Pearl Harbor.

EDWARD TELLER, PADRE DE LA BOMBA DE HIDRÓGENO

La carrera hacia la Luna

Las proezas soviéticas en el espacio infligieron en la sociedad estadounidense un profundo sentimiento de inferioridad. La década de los años sesenta vio la llegada de los primeros vuelos tripulados, y con ellos, la competición entre estas potencias por dominar el espacio se intensificó notablemente.

Tras los éxitos de los dos primeros Sputniks y el lanzamiento de las perras Strelka y Belka a bordo del Korabl Sputnik 2, quedó demostrado que era posible no solo poner en órbita ingenios tripulados, sino también hacerlos regresar a la Tierra con éxito. Gracias a estas experiencias, se sabía cómo reaccionaban algunos animales al medio espacial. No obstante, los conocimientos sobre cómo lo haría el cuerpo humano eran prácticamente nulos.

Los primeros trabajos en el desarrollo de un vehículo espacial pilotado por un ser humano datan de agosto de 1958, y fueron liderados por la URSS. En abril del año siguiente finalizó la elaboración de un diseño preliminar para la primera nave tripulada soviética, bautizada con el nombre de Vostok (Oriente), una Korabl Sputnik similar a las utilizadas en los vuelos previos tripulados por animales, pero con las modificaciones necesarias para permitir la participación humana. El lanzador elegido para este programa fue el mismo R-7 Semyorka empleado en vuelos anteriores.

Los estadounidenses comenzaron a trabajar en su programa tripulado, llamado Mercury (Mercurio), en noviembre de 1958. La NASA, la agencia que se ocuparía de la vertiente civil del pro-

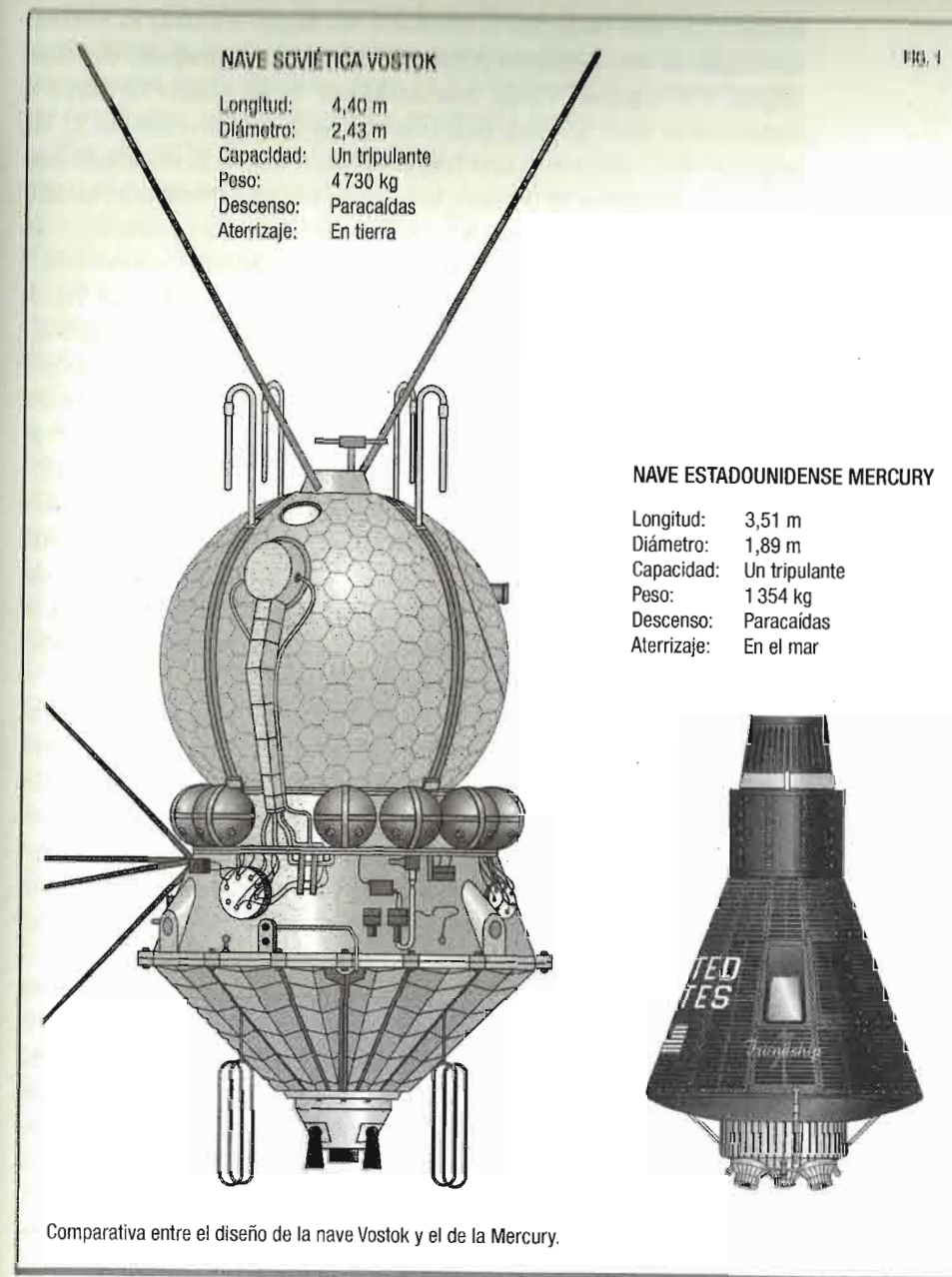
grama espacial del país, eligió los lanzadores Redstone y Atlas para los vuelos suborbitales y orbitales, respectivamente. Algunos vuelos de prueba contaron con la participación de macacos y chimpancés.

La figura 1 muestra los muy distintos enfoques de diseño seguidos para la construcción de las naves Vostok y la de las Mercury.

PRIMERAS EXPERIENCIAS HUMANAS MÁS ALLÁ DE LA ATMÓSFERA

El 12 de abril de 1961 partía desde el cosmodromo de Baikonur (Kazajistán) la nave Vostok 1, llevando en su interior al cosmonauta soviético Yuri Gagarin, un joven piloto militar de veintisiete años. Gagarin se convertía así en el primer ser humano en cruzar la barrera de la atmósfera e internarse en el oscuro vacío del espacio. Dado que existían muchas incógnitas acerca de cómo reaccionaría al vuelo, los ingenieros decidieron que la misión se realizara en modo automático, con los controles totalmente bloqueados en previsión de que el cosmonauta sufriera algún tipo de demencia que le empujara a pulsar indiscriminadamente los conmutadores del panel de mando. Su viaje le llevó a describir una órbita completa a la Tierra. Tras reingresar en la atmósfera con éxito, y a unos 7000 m de altura, Gagarin accionó un sistema de eyección para evacuar la nave. A 4000 m, se separó de su asiento e inició el descenso en paracaídas. Tanto él como su vehículo aterrizaron sobre la región de Sarátov 118 minutos después del lanzamiento, aunque oficialmente la misión duró el tiempo en que Gagarin permaneció en el interior de su nave, es decir, 108 minutos.

Este nuevo logro soviético minó aún más la moral de los estadounidenses, y la NASA se vio obligada a acelerar sus planes para lanzar a su primer astronauta. El 5 de mayo de aquel mismo año, Alan Shepard Jr. era lanzado desde Cabo Cañaveral a bordo de una cápsula Mercury llamada Freedom 7 (Libertad 7), convirtiéndose así en el primer estadounidense en volar por el espacio. A diferencia del vuelo de Gagarin, el de Shepard se limitó



a describir una trayectoria balística sin llegar a entrar en órbita, amerizando en el océano Atlántico 15 minutos después del despegue. Un segundo vuelo, realizado por Virgil «Gus» Grissom a bordo de la nave Liberty Bell (Campana de la Libertad) el 21 de julio de 1961, describió una trayectoria similar a la realizada por Shepard, aunque a su regreso la nave se hundió durante el amerizaje en el Atlántico debido a un fallo en el sistema pirotécnico de apertura de la escotilla. Grissom, afortunadamente, sobrevivió.

El segundo soviético en subir al espacio fue Guerman Titov, que despegó a bordo de la Vostok 2 el 6 de agosto. Se trató de una misión de 24 horas en la que describió 17 órbitas a nuestro planeta. Los soviéticos ampliaban claramente distancias frente a los estadounidenses, así que, en un intento por igualarlos, la NASA lanzó su tercera misión humana, Friendship 7 (Amistad 7), el 20 de febrero de 1962. Tripulada por John Glenn Jr., esta fue la primera misión estadounidense en alcanzar la órbita terrestre. El vuelo, de 4 horas y 55 minutos, concluyó con el amerizaje de Glenn en el Atlántico. La NASA inició una misión análoga a la de Glenn el 24 de mayo del mismo año, la cual fue protagonizada por Scott Carpenter a bordo de la nave Aurora 7.

Las dos misiones soviéticas siguientes, Vostok 3 y 4, lanzadas el 11 y el 12 de agosto, respectivamente, realizaron el primer «encuentro» en el espacio. Pese a no poder maniobrar, sus bien calculadas órbitas permitieron que la Vostok 3 (con Andrián Nikoláyev a bordo) y la Vostok 4 (con Pável Popovich) se acercasen hasta 6,5 km entre ambas, una auténtica proeza en cuanto a coordinación en el seguimiento y operaciones espaciales. Nikoláyev y Popovich regresaron a la Tierra el 15 de agosto.

El 3 de octubre despegaba la penúltima misión del programa Mercury. Walter Schirra, a bordo de la nave Sigma 7, describió seis órbitas en torno a la Tierra, invirtiendo en ello 9 horas y 13 minutos. Una acumulación de sangre en las extremidades inferiores de Schirra inquietó a los médicos, aunque afortunadamente no derivó en problemas serios. Pero fue la última misión del programa, realizada por Gordon Cooper a bordo de la Faith 7 (Fe 7), la que batió el récord de permanencia en el espacio de un astronauta estadounidense, 34 horas y 20 minutos, efectuando

un total de 22 órbitas alrededor de la Tierra. Existían planes para la realización de nuevos vuelos de mayor duración e incluyendo encuentros en el espacio, pero la NASA determinó que era momento de dar paso al siguiente programa tripulado.

Por su parte, la URSS concluyó el suyo con las misiones Vostok 5 y 6. Lanzada el 14 de junio de 1963 y tripulada por Valeri Bykovski, la Vostok 5 batió el récord internacional de permanencia en órbita, 119 horas y 6 minutos (vigente para la URSS hasta la misión Soyuz 9). La nave se aproximó a la Vostok 6 hasta pasar muy cerca de ella; esta fue lanzada dos días después y tripulada por Valentina Tereshkova, la primera mujer que viajó al espacio. Las dos naves regresaron a la Tierra el 19 de junio.

Ya desde el vuelo de Gagarin se sucedían las reuniones entre el entonces presidente de Estados Unidos, John F. Kennedy, el vicepresidente y director del Consejo Nacional de Aeronáutica y del Espacio, Lyndon Johnson, y directivos de la NASA. Las reuniones tenían como propósito la puesta en marcha de un plan para superar a los soviéticos y convertían a la Luna en un objetivo que, de alcanzarse, elevaría el prestigio de los Estados Unidos en el plano internacional.

Kennedy anunció públicamente la puesta en marcha del programa lunar el 25 de mayo de 1961, durante la sesión sobre el estado de la nación celebrada en el Congreso. A lo largo de dicho discurso, explicó las necesidades de responder de forma efectiva y rápida a los éxitos de la URSS en el espacio. De este modo nacía oficialmente el programa lunar Apollo (en inglés, Apollo), cuyo nombre proviene de un personaje de la mitología griega, el dios Apolo.

Ni que decir tiene que la decisión de Kennedy imprimió una gran presión a la NASA, que en aquel entonces contaba tan solo con los 15 minutos del vuelo de Shepard como experiencia práctica en vuelos tripulados. Para conseguir llevar al ser humano a la Luna era imprescindible desarrollar una tecnología hasta

Creo que esta nación debe comprometerse, antes de finalizar la década, a enviar a un hombre a la Luna y retornarlo sano y salvo a la Tierra.

JOHN F. KENNEDY, PRESIDENTE DE ESTADOS UNIDOS

entonces inexistente, diseñar y construir nuevos vehículos y trajes presurizados, y adquirir una experiencia en maniobras de encuentro y acoplamiento, tanto en órbita terrestre como en órbita lunar.

Mientras tanto, la URSS trabajaba en su siguiente programa tripulado, llamado Voskhod (Amanecer), para el cual emplearía una versión modificada de la nave Vostok, con capacidad para albergar a tres cosmonautas. Los soviéticos realizaron dos misiones en el marco de este programa. La primera de ellas, Voskhod 1, tripulada por Konstantín Feoktistov, Vladímir Komarov y Boris Yegorov, despegó desde Baikonur el 12 de octubre de 1964 y tuvo una duración de 24 horas y 17 minutos, describiendo 16 órbitas alrededor de la Tierra. Durante el vuelo, la tripulación realizó estudios biomédicos y retransmitió a tierra imágenes de televisión en tiempo real. Pero fue el segundo vuelo del programa, Voskhod 2, el que pasó a la historia por ser la primera misión en la que el ser humano *paseó* por el espacio. Para materializar tal hazaña, los soviéticos realizaron algunas modificaciones en la nave, entre ellas la incorporación de una esclusa extensible para permitir la realización del paseo, conocido técnicamente como *actividad extravehicular* (o EVA, por sus siglas en inglés), sin necesidad de despresurizar el vehículo por completo. Estas modificaciones impidieron la participación de un tercer cosmonauta en la tripulación, por lo que la misión fue llevada a cabo por Pável Beliáyev y Alekséi Leónov, despegando el 18 de marzo de 1965. Una vez en órbita, la tripulación desplegó la esclusa a través de la cual Leónov accedió al exterior unido a la nave por un cable umbilical para evitar perderse en el espacio. A lo largo del paseo, el traje de Leónov comenzó a experimentar un aumento de presión, hinchándose hasta el extremo de suponer un problema a la hora de regresar a la esclusa. Tras 12 minutos de EVA, Leónov consiguió introducirse en ella al reducir la presión del traje, aunque estuvo a punto de sufrir un golpe de calor. Ocho minutos después logró cerrar la escotilla y acceder al interior de la nave. El 19 de marzo, la Voskhod 2 regresó con éxito a la Tierra.

El propósito fundamental del segundo programa tripulado de la NASA, llamado Gemini (palabra del latín que significa gеме-



El cosmonauta soviético Yuri Gagarin fue el primer ser humano que viajó al espacio exterior; en la fotografía superior aparece con su traje espacial presurizado. Abajo, encuentro orbital entre las naves Gemini 6A y Gemini 7.

los), era adquirir experiencia en la realización de actividades extravehiculares y en maniobras de encuentro y acoplamiento en órbita, empleando para ello una versión más sofisticada de la nave Mercury, en la que el astronauta tendría mayor control sobre el vuelo. Una de las principales novedades del nuevo vehículo era la capacidad para incorporar a un segundo astronauta (de ahí la alusión a los gemelos en el nombre del programa). Tras dos vuelos de prueba sin ocupantes, el nuevo programa se inauguró el 23 de marzo de 1965 con la misión Gemini 3, tripulada por Virgil Grissom y John Young. Se trató de un vuelo breve, de 4 horas y 53 minutos de duración, en el que se determinaron las capacidades de vehículo y tripulación para realizar operaciones controladas manualmente.

El 3 de junio despegaban James McDivitt y Edward White a bordo de la Gemini 4. White se convirtió en el primer estadounidense en realizar una EVA, que duró más de lo programado (36 minutos frente a los 15 previstos, debido a problemas en las comunicaciones con el control de misión). A lo largo de sus 62 órbitas en torno a la Tierra, la tripulación de la Gemini 4 realizó once experimentos científicos, si bien no pudieron llevar a cabo con éxito el encuentro programado con su cohete lanzador.

Tras el vuelo de la Gemini 5, que duplicó la estancia orbital de su predecesora, la primera maniobra de encuentro en el espacio realizada por Estados Unidos llegó con las misiones Gemini 6A (sucesora de la Gemini 6, que abortó su lanzamiento por un fallo en el cohete que debía enviar al espacio a su vehículo objetivo) y Gemini 7, las cuales despegaron el 15 y el 4 de diciembre, respectivamente. Walter Schirra y Thomas Stafford, a bordo de la Gemini 6A, situaron su nave a menos de 2 m de la Gemini 7, tripulada por Frank Borman y James Lovell, la cual sirvió de objetivo pasivo para la maniobra (véase la fotografía inferior de la página anterior). Borman y Lovell establecieron un récord de permanencia en el espacio, 330 horas y 36 minutos.

Las siguientes dos misiones, Gemini 8 y 9, tenían como meta realizar el primer acoplamiento en el espacio, utilizando como objetivo la última fase de un lanzador Atlas-Agena, denominado GATV (acrónimo inglés de Vehículo Objetivo Gemini-Agena), lan-

zado previamente. La Gemini 8, tripulada por Neil Armstrong y David Scott y lanzada el 16 de marzo de 1966, se acopló con éxito al GATV, pero un cortocircuito registrado en el sistema de control de orientación de la nave obligó a los astronautas a desacoplarse del vehículo Agena e iniciar el regreso a la Tierra. Por su parte, Eugene Cernan y Thomas Stafford, lanzados el 3 de junio a bordo de la Gemini 9A (rebautizada porque la misión original Gemini 9 había sido abortada dos semanas antes), solo pudieron realizar la maniobra de encuentro con el vehículo ATDA (acrónimo inglés de Adaptador de Acoplamiento de Objetivo Expandido). La cubierta que protegía el sistema de acoplamiento de este último no se desprendió tras el lanzamiento tal como estaba previsto.

La Gemini 10, tripulada por Michael Collins y John Young, despegó el 18 de julio para acoplarse con un nuevo GATV, al igual que hicieran Charles Conrad y Richard Gordon, que partieron al espacio en la Gemini 11 el 12 de septiembre. La última misión del programa, Gemini 12, tripulada por Edwin «Buzz» Aldrin y James Lovell y lanzada el 11 de noviembre, incluyó la que fue la última EVA antes del inicio de los vuelos del programa Apolo. Aldrin invirtió 5 horas y media en realizar tres paseos espaciales.

El 23 de abril de 1967, la URSS lanzaba la primera de las misiones de su nuevo programa, Soyuz (Unión), cuyo vehículo constituiría la base de los que serían empleados para los vuelos lunares tripulados. Los objetivos principales de la Soyuz 1 eran probar la versatilidad del nuevo vehículo en órbita terrestre y acoplarse a una segunda nave, la Soyuz 2, que sería lanzada poco después, llevando en su interior a tres cosmonautas, dos de los cuales debían acceder a la Soyuz 1 durante un paseo espacial. El vuelo de la primera Soyuz experimentó averías desde su llegada a la órbita terrestre. Uno de los paneles solares de la nave no se desplegó correctamente, mientras que los residuos ocasionados por el encendido de los motores de control de posición provocaron un fallo en el sistema de orientación, lo cual dificultó sobremanera su control. Por tales motivos, los técnicos espaciales soviéticos decidieron cancelar el lanzamiento de la segunda Soyuz y adelantar el regreso a la Tierra de la primera. El 24 de abril, Vladímir Komarov realizó la maniobra de reentrada

de forma manual dado que la tentativa en modo automático había fallado. Durante el descenso, y debido a un error de diseño de la nave, los paracaídas no se desplegaron correctamente y la Soyuz 1 terminó impactando contra la superficie terrestre a gran velocidad. Vladímir Komarov falleció en el acto.

MISIONES ROBÓTICAS: ALLANANDO EL TERRENO

La Luna es el cuerpo celeste más cercano a la Tierra y, por ello, se convirtió en objetivo poco después del lanzamiento del Sputnik. Tras el anuncio oficial del programa Apolo en 1961, el número de misiones con destino a la órbita y a la superficie lunar se incrementó notablemente. Era prioritario despejar muchas incógnitas que rodeaban a la compañera natural de la Tierra: ¿Sería su superficie lo suficientemente resistente como para soportar el peso de un vehículo de aterrizaje? ¿Estaría compuesta de tierra firme o de polvo nada compacto? ¿La radiación en el entorno lunar sería nociva para los seres humanos? Asimismo, debían adquirirse conocimientos de la geografía lunar que permitieran elegir los lugares apropiados para los futuros aterrizajes. Para lograr estos objetivos debían cubrirse tres etapas: alcanzar la Luna mediante impactos, aterrizar en su superficie y entrar en su órbita.

La URSS cubrió estas etapas con sus programas Luna y Zond (Sonda). El 14 de septiembre de 1959, el Luna 2, un ingenio esférico dotado de un equipo geofísico, cuatro antenas y una sonda, y alimentado con una pequeña batería, logró impactar contra la superficie selenita, en un punto situado a unos 435 km al norte del centro visible de la Luna. El 4 de octubre le tocaba el turno a su sucesora, Luna 3, un ingenio que contaba con paneles solares y un equipo fotográfico que le permitió tomar las primeras imágenes de la cara oculta del astro.

Tras la misión del Luna 3 siguieron años de sucesivos fracasos para la URSS, hasta que el 3 de febrero de 1966 el Luna 9 se convertía en el primer ingenio en posarse suavemente en la superficie lunar. La nave era un ingenio muy complejo en comparación con sus predecesores, dotado de un módulo principal

con la instrumentación necesaria para el viaje a la Luna y el descenso a su superficie, y de un módulo de aterrizaje de forma esférica, integrado por cuatro estructuras en forma de pétalos que se desplegaban una vez alcanzaba esta. La sonda Luna 9 tomó imágenes de televisión del lugar de aterrizaje, que fueron captadas por el Observatorio de Jodrell Bank (Reino Unido), circunstancia que frustró a los soviéticos al no ser ellos los primeros en difundirlas.

El 3 de abril del mismo año, la Unión Soviética volvía a marcar un nuevo tanto con la entrada en órbita lunar de la nave Luna 10. Esta sonda, similar a su antecesora, estaba provista de diversos instrumentos científicos para medir el campo magnético de la Luna y la radiación existente en su entorno. Después de otras dos misiones orbitales similares a la Luna 10, la URSS regresó a la superficie el 24 de diciembre con la Luna 13, provista de nuevos y mejorados instrumentos, entre ellos una cámara panorámica y sensores para estudiar las propiedades del polvo lunar. Los soviéticos pretendían demostrar así que seguían a la cabeza en la carrera hacia nuestro satélite.

Con objeto de probar los sistemas de comunicaciones que más tarde se utilizarían en los vuelos lunares tripulados soviéticos, el 7 de abril de 1968 fue lanzada al espacio la Luna 14, entrando en órbita lunar tres días después. La nave realizó además estudios de las anomalías gravitatorias lunares y recopiló información que sirvió para establecer las trayectorias que los futuros vehículos tripulados deberían describir. Se sabe que también realizó análisis de la radiación cósmica y de las partículas solares, aunque muy poca información a este respecto ha sido hecha pública.

Por lo que respecta a las naves Zond, la URSS las utilizó para vuelos circunlunares y para explorar otros cuerpos celestes, usando para ello vehículos diferentes. La primera misión circunlunar, Zond 5, despegó el 14 de septiembre. La nave sufrió un problema con un sensor de control de posición, aunque logró rodear la Luna cuatro días después del lanzamiento y tomó diversas fotos en alta resolución de ella y de la Tierra. Durante el regreso, un segundo sensor quedó inutilizado y, al igual que

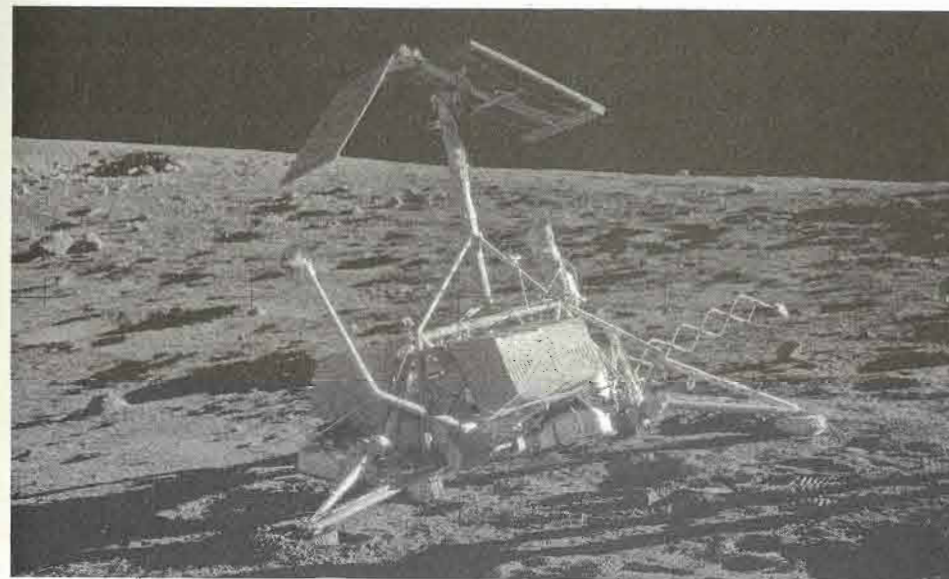
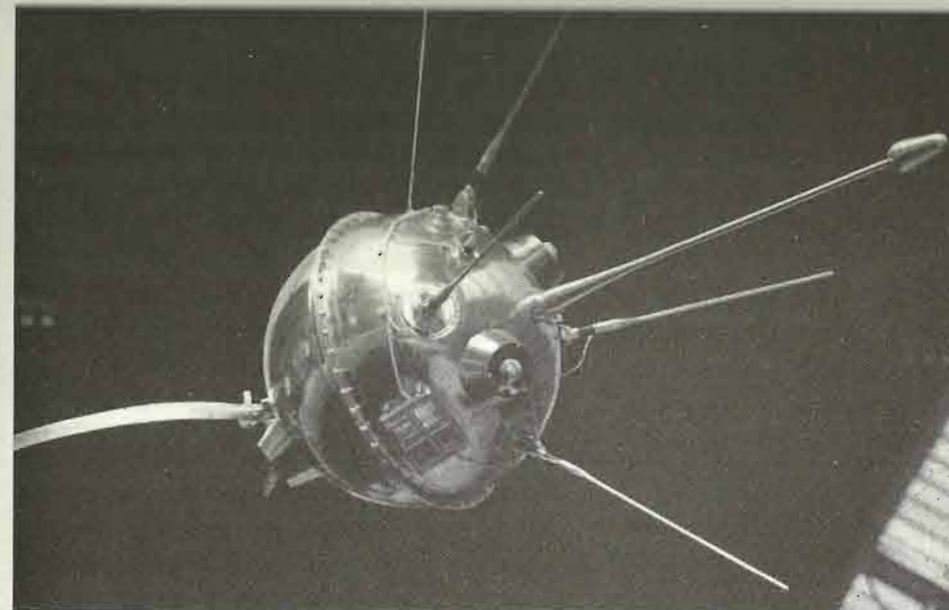
hiciera la Zond 4 (misión previa de prueba), la nave describió una trayectoria balística, reentrando el 21 de septiembre sobre el Índico, a 105 km de distancia del buque soviético de seguimiento más cercano. La Zond 5, además de instrumentos científicos, portaba dos tortugas de las estepas que lograron sobrevivir al abrasador ingreso atmosférico. La pareja fue recuperada y posteriormente enviada a Moscú para su estudio. La siguiente misión, Zond 6, lanzada el 10 de noviembre, también portaba seres vivos, pero corrieron peor suerte dado que la nave impactó contra la superficie terrestre durante el regreso.

Por su parte, Estados Unidos cubrió las etapas de impacto, aterrizaje lunar y entrada en órbita con los programas Ranger, Surveyor y Lunar Orbiter (Orbitador Lunar).

Después de dos misiones de ensayo realizadas en órbita terrestre en 1961, la NASA lanzó las Ranger 3, 4 y 5 al año siguiente con el propósito de impactar contra la Luna, si bien solo la cuarta consiguió tal objetivo, aunque de manera inactiva. El 26 de abril de 1962 impactó en la cara oculta, pero un fallo en el reloj de a bordo había dejado inutilizada la sonda. La primera nave en alcanzar todos y cada uno de los objetivos fijados en el programa fue la Ranger 7. Chocó el 30 de julio de 1964, enviando previamente 4316 imágenes de televisión con una resolución de hasta 1 m. El punto de impacto se localizó en el Mar de las Nubes, a algo menos de 20 km del lugar preestablecido. Los siguientes éxitos vinieron de la mano de las Ranger 8 y 9, que chocaron con gran precisión el 20 de febrero y el 24 de marzo de 1965, retornando a la Tierra un total de 7137 y 5814 imágenes de televisión, respectivamente.

Tras varios vuelos de ensayo con modelos sin instrumentación, el 2 de junio de 1966 Estados Unidos logró posar suavemente sobre la Luna, en el Océano de las Tormentas, a la Surveyor 1. No corrió la misma suerte la Surveyor 2, que impactó contra la Luna como consecuencia de un fallo en el sistema de retrocohetes durante el descenso.

En agosto, la NASA iniciaba su tercer programa de estudio de la Luna, el Lunar Orbiter, con el que Estados Unidos pretendía obtener imágenes y datos científicos desde su órbita. El Lunar



Arriba, modelo funcional de la sonda Luna 1, prácticamente idéntica a su sucesora, la Luna 2. En la imagen inferior, la nave Surveyor 3, fotografiada por los astronautas de la misión Apolo 12.

Orbiter 1 obtuvo información sobre nueve lugares primarios (y otros siete potenciales) para el aterrizaje de los vuelos Apolo.

Después del éxito de su predecesora, la Lunar Orbiter 2 fue lanzada el 6 de noviembre. Durante su misión, se estudiaron otros 13 lugares potenciales de alunizaje para los futuros vuelos tripulados. Gracias a la resolución de su cámara, captó imágenes de los restos de la nave Ranger 8 en la superficie.

A lo largo del año 1967, y como consecuencia del resultado catastrófico de las tentativas soviéticas, los vuelos lunares fueron exclusivamente de dominio estadounidense, con el lanzamiento de las tres últimas misiones del programa Lunar Orbiter. En febrero, la Lunar Orbiter 3 comenzó a cubrir fotográficamente grandes extensiones de la superficie lunar (algo más de 1,5 millones de km² de la cara visible y 647 500 km² de la cara oculta), antes de que un fallo bloqueara el envío de datos. Afortunadamente, las estaciones de seguimiento en tierra lograron recoger casi las tres cuartas partes del volumen total de datos de la misión.

La Surveyor 3 (véase la imagen inferior de la página anterior), lanzada el 17 de abril, volvió a transmitir información desde la superficie. Se posó en el Océano de las Tormentas, enviando más de 6 000 imágenes e información sobre las características del lugar de aterrizaje. Con el éxito de la Surveyor 3, la competición entre estadounidenses y soviéticos parecía equilibrarse.

En mayo, la Lunar Orbiter 4 continuó el cartografiado de la superficie lunar. A su conclusión, los estadounidenses ya habían logrado cartografiar el 99% de la cara visible de la Luna y el 80% de la oculta.

La quinta misión Surveyor estuvo muy cerca de terminar en fracaso, como lo hizo su predecesora, la Surveyor 4. La nave sufrió una fuga de helio en el sistema de propulsión durante el descenso al Mar de la Tranquilidad el 11 de septiembre, consiguiendo alcanzar con éxito la superficie aunque a 29 km del punto establecido. Transmitió más de 18 000 fotografías antes de que la noche cayese sobre el lugar de aterrizaje el 24 de septiembre. Los controladores lograron que la sonda enviara nuevas imágenes durante el segundo día lunar (entre el 15 y el 24

de octubre) y el cuarto (en diciembre), y datos científicos a lo largo de dos semanas. En total, 20 018 imágenes fueron recibidas en tierra. Gracias a los instrumentos de la Surveyor 5, se determinó que la superficie lunar se componía, principalmente, de roca basáltica.

Desde agosto de 1967 hasta enero de 1968, la quinta y última misión del programa Lunar Orbiter obtuvo nuevos datos sobre posibles áreas de alunizaje y realizó estudios detallados sobre 36 lugares de interés científico. Mientras transmitía a la Tierra los datos recopilados desde la órbita lunar, la Surveyor 6, sobre la Luna, enviaba cerca de 30 000 imágenes desde la región de Sinus Medii, y se convertía en la primera nave en despegar de la superficie lunar. El 17 de noviembre de 1967, diez días después de aterrizar, los controladores de la misión activaron los motores de la nave, que la elevaron hasta los 3 m de altitud, para luego regresar a la superficie, a unos 2,5 m de distancia al oeste del punto de alunizaje original. Posteriormente, la sonda tomó fotografías de las huellas dejadas por ella en el lugar del primer aterrizaje, con objeto de determinar las propiedades mecánicas del polvo lunar.

Dado que la primera, tercera, quinta y sexta misiones habían logrado todos los objetivos del programa, la NASA decidió emplear la séptima y última Surveyor para realizar estudios científicos al margen de analizar lugares potenciales para las misiones Apolo. La Surveyor 7 aterrizó el 10 de enero de 1968 en la capa de deyección del cráter Tycho, con un error de tan solo 4 km con respecto al lugar previsto, enviando a la Tierra más de 21 000 fotografías (la mayoría de ellas estereográficas). La nave portaba un emisor láser, de 1 W de potencia, que fue orientado hacia nuestro planeta con objeto de determinar con precisión la distancia entre la Tierra y la Luna. A lo largo de la primera noche lunar, las temperaturas descendieron hasta alcanzar los -156 °C y dañaron la batería de la nave, por lo que el envío de datos a la Tierra durante el día siguiente fue realizado de manera intermitente. La Surveyor 7, cuyas transmisiones cesaron el 21 de febrero de 1968, fue la última misión robotizada estadounidense enviada a la Luna antes de los vuelos Apolo.

¿CÓMO ENVIAR SERES HUMANOS A LA LUNA?

El primer requisito a cumplir para enviar humanos a la Luna era hallar una forma idónea de hacer el viaje. Las opiniones de estadounidenses y soviéticos orbitaban en torno a tres opciones principales. La primera de ellas era el ascenso directo, que implicaba el uso de un cohete de colosales dimensiones que enviara a la Luna una nave espacial con capacidad para aterrizar en su superficie, despegar desde ella y volver a casa. La segunda era el encuentro en órbita terrestre, y precisaba del lanzamiento de diversos módulos y su acoplamiento alrededor de la Tierra. Esta técnica podía requerir la puesta en órbita de una estación espacial en torno al planeta que sirviera como punto de encuentro y ensamblaje de las naves lunares. La tercera opción era el encuentro en órbita lunar, que proponía el lanzamiento de una nave en un único cohete a la órbita terrestre, para posteriormente desplazarse a la órbita lunar, desde la que un pequeño módulo se desacoplaría para aterrizar en la superficie. El encuentro en órbita lunar se presentaba como la solución más viable, entre otros factores por su simplicidad. Sin embargo, ofrecía algunas dificultades, dado que precisaba de un cohete capaz de lanzar cargas pesadas. Además, en caso de contratiempos en el acoplamiento de las naves, la tripulación podría verse incapacitada para regresar a la Tierra.

Estadounidenses y soviéticos se inclinaron por la tercera opción para sus respectivos programas lunares, lo que implicaba la utilización de lanzadores con suficiente potencia como para enviar a la Luna ingenios pesados. Los estadounidenses diseñaron un gigantesco cohete, de 110 m de altura y compuesto de tres etapas, llamado Saturno V (Saturn V en su nombre original en inglés). Por su parte, los soviéticos diseñaron el N-1, un lanzador cuya longitud era próxima a la de su homólogo estadounidense, 104 m, con cuatro etapas. Si el Saturno V disponía de cinco motores en su primera y segunda etapas, respectivamente, y de un motor en la tercera, el N-1 contaba con treinta motores en su primera etapa, ocho en la segunda, cuatro en la tercera y uno en la cuarta. Este excesivo número de motores en su primera etapa fue uno de los

factores que derivaron en que el cohete sufriera problemas a los pocos segundos del despague en todos los vuelos de prueba. La URSS quedó, por tanto, carente de lanzadores pesados que permitieran el envío de cosmonautas a la superficie selenita, perdiendo en consecuencia, entre otros motivos, la *carrera lunar*.

UN PEQUEÑO PASO PARA UN HOMBRE...

El programa Apolo tuvo un trágico comienzo. El 27 de enero de 1967, durante una simulación realizada en Cabo Cañaveral con la tripulación del Apolo 1, integrada por Virgil «Gus» Grissom, Roger Chaffee y Edward White, se produjo un cortocircuito que, alimentado por el oxígeno puro de la atmósfera del interior de la nave, desembocó en un feroz incendio que acabó con la vida de los astronautas.

La NASA invirtió más de un año en introducir cambios en la astronave y en la realización de varios vuelos de prueba sin tripulación. No fue hasta el 11 de octubre de 1968, es decir, a escasos 14 meses de la fecha límite impuesta por Kennedy, cuando la agencia espacial realizó el primer vuelo tripulado del programa. Walter Schirra, Walter Cunningham y Donn Eisele despegaron del Centro Espacial Kennedy a bordo de la nave Apolo 7, cuya misión se centraba en probar los diferentes sistemas del vehículo y simular maniobras de acoplamiento con la última fase de su cohete lanzador, el Saturno IB («hermano pequeño» del Saturno V), así como realizar algunos experimentos médicos. Once días después del lanzamiento, los astronautas amerizaban con éxito en el océano Pacífico.

La siguiente misión se realizó entre el 21 y el 27 de diciembre de 1968. Con Frank Borman, William Anders y James Lovell a bordo, la nave Apolo 8 realizó el primer vuelo tripulado circunlunar y el primero en el que se empleó el Saturno V en una misión tripulada. Los astronautas tuvieron ocasión de contemplar por primera vez cómo la Tierra emergía del horizonte lunar, inmortalizando el acontecimiento en una fotografía convertida en icono de la astronáutica.

LOS CABALLOS DE BATALLA PARA IR A LA LUNA

Después de una larga investigación, la NASA llegó a la conclusión de que el vehículo espacial para el viaje hacia la órbita lunar y el regreso a la Tierra debía estar compuesto por dos estructuras principales: un Módulo de Mando (CM, por sus siglas en inglés), con capacidad para albergar a tres personas durante dos o más semanas, de aspecto cónico y equipado con un escudo térmico, y un Módulo de Servicio (SM), cilíndrico, dotado de sistemas de soporte vital para la tripulación (oxígeno, agua, electricidad, etc.) y de propulsión (combustible, motor principal y motores de control de posición), que pudiera ser expulsado previamente a la reentrada en la atmósfera terrestre. Unidos, estos módulos constituirían el Módulo de Mando y Servicio (CSM).

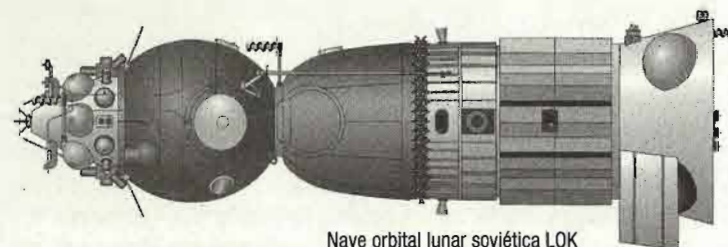
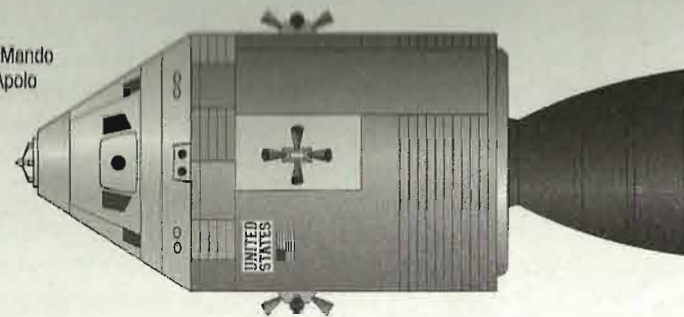
La araña lunar

Para acceder a la superficie lunar era necesario un segundo vehículo, llamado Módulo de Excursión Lunar (LEM por sus siglas en inglés, o abreviadamente Módulo Lunar, LM), con capacidad para dos astronautas y con una autonomía de varios días. Este vehículo iba acoplado al CSM durante el trayecto a la Luna. Al entrar en su órbita, el LEM se desacoplaba del CSM y descendía a la superficie. El LEM, a su vez, estaba formado por dos secciones, una de descenso, integrada por un motor, depósitos de combustible y un tren de aterrizaje con cuatro patas, y una de ascenso que albergaba a los astronautas y disponía de lo necesario para abandonar la Luna al finalizar la misión en la superficie, incluyendo un motor principal y 16 de control de posición. El LEM carecía de asientos, dado que la baja gravedad lunar no los hacía necesarios durante las fases de aterrizaje y despegue. Disponía asimismo de espacios para albergar experimentos que se situarían sobre la Luna, y en los últimos vuelos transportó un vehículo móvil que conducirían los astronautas.

Los vehículos soviéticos

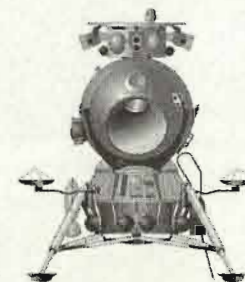
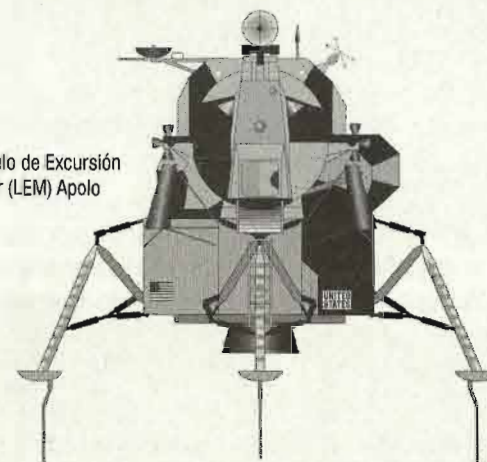
Los soviéticos, por su parte, habían diseñado tres vehículos para vuelos lunares, dos de ellos basados en la nave Soyuz, la cual estaba formada por tres secciones: el módulo orbital, el módulo de descenso y el módulo de instrumentos. El vehículo utilizado en primer lugar fue la nave Zond (una Soyuz sin módulo orbital), con capacidad para uno o dos cosmonautas y destinada a vuelos circunlunares, aunque solo realizó vuelos automáticos con la participación de algunos seres vivos, entre ellos tortugas. El segundo se llamaba Módulo Orbital Lunar (o LOK, por sus siglas rusas), prácticamente idéntico a la Soyuz pero provisto de un módulo de instrumentos ampliado. Esta nave podía albergar a tres cosmonautas en vuelos alrededor de la Luna. El tercer vehículo era el Módulo Lunar (LK), destinado al descenso a la superficie lunar. Se componía, como el LEM estadounidense, de dos secciones, una de descenso y otra de ascenso. La primera de ellas disponía de un sistema de propulsión y de un tren de aterrizaje similar al de su homólogo estadounidense. La segunda, tras el abandono del tren de aterrizaje, usaba el mismo sistema de propulsión y tenía además todos los sistemas que garantizaban el soporte vital. El LK era más reducido en tamaño que el LEM, y solo podía albergar a un ocupante.

Módulo de Mando y Servicio Apolo



Nave orbital lunar soviética LOK

Módulo de Excursión Lunar (LEM) Apolo



Módulo Lunar Soviético LK

Comparativa entre diseños de las naves lunares estadounidenses y soviéticas.

En las siguientes misiones de prueba, Apolo 9 y Apolo 10, se hicieron ensayos de las maniobras que se debían efectuar en el primer vuelo con destino a la superficie lunar. En la misión Apolo 9, realizada por James McDivitt, Russell Schweickart y David Scott entre el 3 y el 13 de marzo de 1969, la tripulación efectuó maniobras de encuentro y acoplamiento entre el Módulo Lunar y el Módulo de Mando y Servicio en órbita terrestre. Schweickart realizó una EVA para probar el traje diseñado para caminar sobre la Luna. Por su parte, Eugene Cernan, Thomas Stafford y John Young, de la Apolo 10, llevada a cabo entre el 18 y el 26

de mayo, efectuaron las mismas maniobras que en el vuelo previo pero en órbita lunar, incorporando además una simulación de descenso a la superficie para probar los instrumentos del Módulo Lunar.

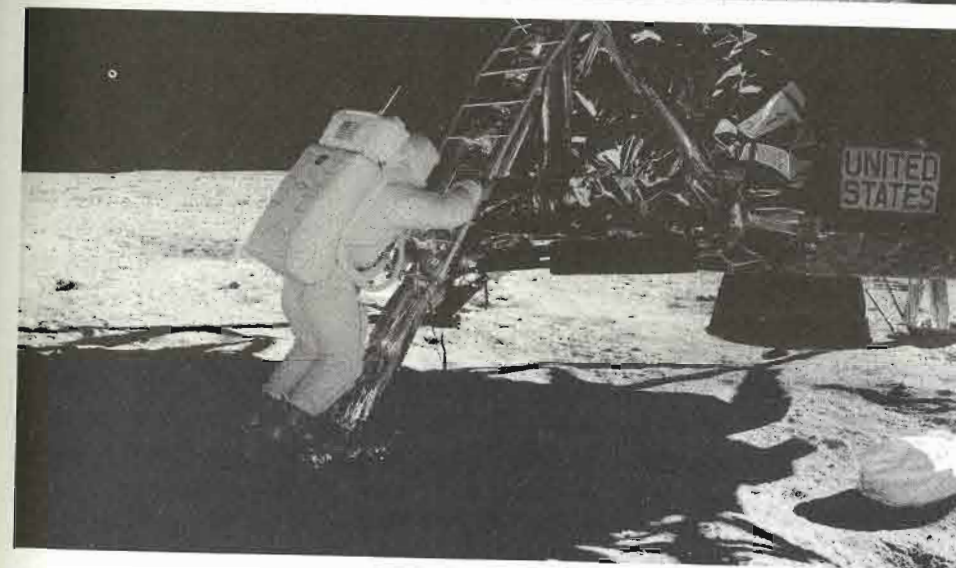
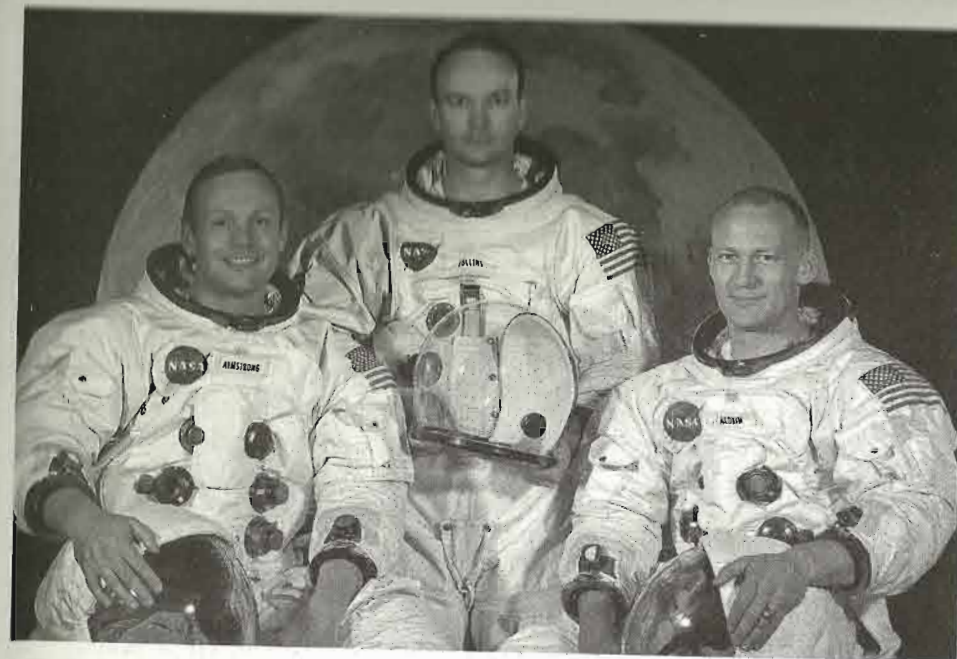
Habiendo adquirido todos los conocimientos posibles, la NASA dio luz

verde a la misión destinada a enviar a los primeros humanos a la superficie de nuestro satélite. El 16 de julio de 1969, Neil Armstrong, Edwin «Buzz» Aldrin y Michael Collins (en la página contigua) despegaron a bordo del Apolo 11. Tras entrar en órbita lunar tres días y medio después, Armstrong y Aldrin pasaron al Módulo Lunar rebautizado como Eagle (Águila) y se separaron del Módulo de Mando y Servicio, renombrado Columbia y tripulado por Collins. Durante el descenso, el 20 de julio, la computadora de guiado del Eagle se vio saturada por la cantidad de datos recibidos durante la maniobra. Asimismo, los astronautas tuvieron que desconectar a última hora el piloto automático dado que la zona elegida para el aterrizaje estaba ocupada por un gran peñasco que impedía la operación, teniendo que elegir un nuevo lugar quedando tan solo 60 segundos de combustible. Finalmente, a las 20:18, hora UTC, el tren de aterrizaje del Eagle entraba en contacto sin problemas con la superficie, en el Mar de la Tranquilidad.

Aunque según el programa de vuelo los astronautas debían dormir tras el aterrizaje, estos decidieron posponer el descanso e iniciar inmediatamente los preparativos para caminar sobre

Houston, aquí Base de la Tranquilidad. El Águila ha aterrizado.

**NEIL ARMSTRONG, COMANDANTE
DE LA MISIÓN APOLO 11**



Tripulación de la histórica misión Apolo 11; de izquierda a derecha: Neil Armstrong, Michael Collins y Edwin «Buzz» Aldrin. Este último aparece descendiendo a la superficie lunar en la imagen inferior.

la Luna. Eran las 02:56 UTC del 21 de julio cuando Armstrong se convertía en el primer humano en pisar otro cuerpo celeste. Durante algo más de dos horas y media, él y Aldrin instalaron cámaras de TV y diversos experimentos para medir las condiciones que reinaban en el lugar, tomaron fotografías y recogieron un total de 21,5 kg de polvo y rocas. Tras la EVA, los astronautas regresaron al Eagle y durmieron por espacio de 7 horas.

El despegue tuvo lugar a las 17:54 UTC. Mientras, Collins, a bordo del Columbia en órbita, se preparaba para el acoplamiento con el Eagle, que tuvo lugar a las 21:35 UTC. Una vez reunidos, los astronautas emprendieron el regreso a la Tierra a bordo del Columbia, abandonando al Eagle en la órbita lunar.

El 24 de julio, el Apolo 11 amerizaba con éxito en el océano Pacífico. Ante la posibilidad, remota pero no imposible, de que portaran algún tipo de microorganismo lunar, los astronautas fueron puestos en cuarentena durante 21 días, un procedimiento que se siguió en las siguientes dos misiones que accedieron a la superficie lunar, y que fue posteriormente descartado al demostrarse que el ambiente selenita era totalmente estéril.

Seis misiones siguieron al Apolo 11, cinco de las cuales alcanzaron la superficie de nuestro satélite. El Apolo 12 partió el 14 de noviembre de 1969, aterrizando en el Océano de las Tormentas a tan solo unos metros del lugar donde dos años antes se había posado la sonda Surveyor 3. Charles Conrad y Alan Bean fotografiaron y examinaron la sonda, y desmontaron algunos de sus instrumentos para su retorno a la Tierra, mientras Richard Gordon les esperaba en órbita. Los astronautas regresaron a nuestro planeta el 24 de noviembre.

El Apolo 13 tenía como misión aterrizar en las llanuras de Fra Mauro, despegando el 11 de abril de 1970. Dos días después sufrió una explosión en uno de sus depósitos de oxígeno. James Lovell, Fred Haise y John Swigert se vieron obligados a cancelar el alunizaje, emplear el Módulo Lunar como bote salvavidas y describir

El despegue tuvo lugar a las 17:54 UTC. Mientras, Collins, a bordo del Columbia en órbita, se preparaba para el acoplamiento con el Eagle, que tuvo lugar a las 21:35 UTC. Una vez reunidos, los astronautas emprendieron el regreso a la Tierra a bordo del Columbia, abandonando al Eagle en la órbita lunar.

El 24 de julio, el Apolo 11 amerizaba con éxito en el océano Pacífico. Ante la posibilidad, remota pero no imposible, de que portaran algún tipo de microorganismo lunar, los astronautas fueron puestos en cuarentena durante 21 días, un procedimiento que se siguió en las siguientes dos misiones que accedieron a la superficie lunar, y que fue posteriormente descartado al demostrarse que el ambiente selenita era totalmente estéril.

Seis misiones siguieron al Apolo 11, cinco de las cuales alcanzaron la superficie de nuestro satélite. El Apolo 12 partió el 14 de noviembre de 1969, aterrizando en el Océano de las Tormentas a tan solo unos metros del lugar donde dos años antes se había posado la sonda Surveyor 3. Charles Conrad y Alan Bean fotografiaron y examinaron la sonda, y desmontaron algunos de sus instrumentos para su retorno a la Tierra, mientras Richard Gordon les esperaba en órbita. Los astronautas regresaron a nuestro planeta el 24 de noviembre.

El Apolo 13 tenía como misión aterrizar en las llanuras de Fra Mauro, despegando el 11 de abril de 1970. Dos días después sufrió una explosión en uno de sus depósitos de oxígeno. James Lovell, Fred Haise y John Swigert se vieron obligados a cancelar el alunizaje, emplear el Módulo Lunar como bote salvavidas y describir

LOS DESCUBRIMIENTOS MÁS IMPORTANTES SOBRE LA LUNA

Las misiones lunares han permitido despejar muchas incógnitas sobre el origen de nuestro satélite natural y sobre nuestro propio planeta. Las muestras retornadas a la Tierra en los años sesenta y setenta han sido, y algunas siendo hoy en día, objeto de análisis. Estos han determinado, entre otras cosas, que la Luna posee una estructura interna similar a la de la Tierra. Además, al carecer de atmósfera, conserva las características presentes en sus primeros mil millones de años de existencia. Los estudios comparativos apuntan a que la Tierra y la Luna se formaron a partir de los mismos materiales, aunque el agua tuvo una presencia escasa durante la creación de esta última. Debido a la acción del campo gravitatorio terrestre en las primeras etapas de su formación, la morfología de la Luna es ligeramente asimétrica.

Las rocas lunares, claves para entender el pasado de la Tierra

Las rocas lunares más jóvenes han demostrado tener la misma edad que las más antiguas halladas en nuestro planeta, y de ellas se desprende que la Luna carece de compuestos orgánicos y no alberga formas de vida ni fósiles. Su superficie está recubierta por una capa de rocas y polvo llamada *regolito*, que contiene información muy valiosa sobre diferentes niveles de radiación solar a los que ha estado expuesta. A partir de ella, los científicos pueden determinar los diferentes cambios climáticos que experimentó nuestro planeta en el pasado.



Imagen conocida como «Salida de la Tierra», tomada desde la órbita lunar por los astronautas de la misión Apolo 8.

una trayectoria de retorno libre hacia la Tierra, regresando con éxito el 17 de abril. Los objetivos de aquella misión fueron llevados a cabo por Alan Shepard, Edgar Mitchell y Stuart Roosa durante el vuelo del Apolo 14 entre el 31 de enero y el 9 de febrero de 1971.

Las tres últimas misiones Apolo tuvieron una duración mayor gracias a una mejora del LEM y ampliaron notablemente el área de exploración al contar con sendos vehículos todoterreno, llamados LRV (siglas, en inglés, de Vehículo de Desplazamiento Lunar). Así, el vuelo del Apolo 15 se extendió desde el 26 de julio al 7 de agosto de 1971. Mientras David Scott orbitaba la Luna, James Irwin y Alfred Worden recorrieron con el LRV la región de Hadley Rille en los Apeninos Lunares, donde encontraron anortosita, una roca que contribuyó a entender mucho mejor los procesos geológicos que intervinieron en la formación de la Luna. Ello le valió el apodo de *Roca del Génesis*.

Charles Duke, Thomas Mattingly y John Young tripularon el Apolo 16 en su misión entre el 16 y el 27 de abril de 1972. Duke y Young exploraron la región de Descartes con el LRV, recogiendo nuevas muestras de rocas y polvo lunar.

La última misión humana a la Luna (por ahora) fue la del Apolo 17, que despegó el 7 de diciembre de 1972 con Eugene Cernan, Harrison Schmitt y Ronald Evans. Cernan y Schmitt recorrieron la región de Taurus-Littrow en el Mar de la Serenidad, donde encontraron las primeras muestras de tierra de color ocre. Los análisis realizados tras el regreso determinaron que esa coloración tenía origen volcánico. El 19 de diciembre de 1972 el Apolo 17 retornó a la Tierra, concluyendo así uno de los programas espaciales más ambiciosos de la historia.

Aunque imposibilitada de enviar humanos a su superficie, la URSS continuó explorando la Luna con ingenios robóticos hasta 1976. De entre ellos destacan algunos que cogieron y trajeron muestras, y dos vehículos rodantes llamados Lunokhod (Caminante Lunar), que recorrieron durante meses el Mar de las Lluvias y el Mar de la Serenidad, en 1970 y 1973, respectivamente.

Vivir y trabajar en el espacio

Tras la llegada a la Luna, la mirada de soviéticos y estadounidenses se dirigió a Marte. Era vital conocer la respuesta del cuerpo humano a la microgravedad prolongada, ya que un viaje al Planeta Rojo precisaría de casi dos años para su ejecución, sin contar el tiempo que la tripulación invertiría en la superficie del planeta.

La idea de vivir en el espacio no es nueva. Novelas y largometrajes, así como ensayos escritos antes del nacimiento de la «Era Espacial», ya describían cómo el ser humano establecería su presencia permanente en órbita. Los primeros conceptos, como se mencionó en el segundo capítulo, fueron ideados por científicos e ingenieros como el ruso Konstantín Tsiolkovski, el austriaco Herman Potočnik y el alemán Wernher von Braun. La mayoría de aquellos conceptos estaban basados, principalmente, en una estructura toroidal, cuya rotación sobre su propio eje y en el plano horizontal habría permitido que la fuerza centrífuga generada por esta se tradujera en un ambiente de gravedad artificial. Se trataba de proyectos muy ambiciosos que presentaban entonces, al igual que hoy en día, muchas dificultades para su realización.

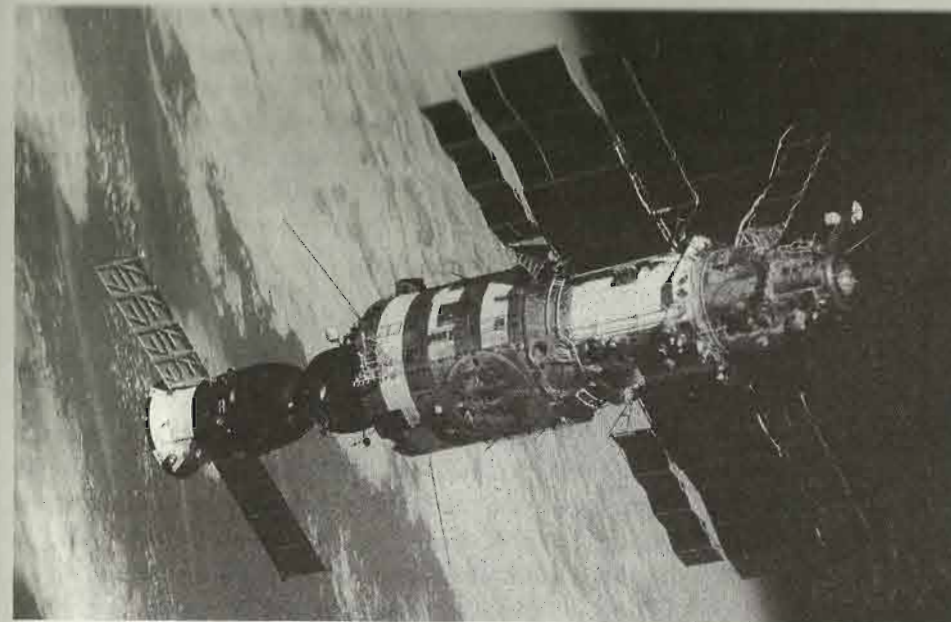
Ya en plena «carrera espacial», los ingenieros desecharon el concepto toroidal por ser poco práctico y determinaron que existían dos técnicas viables para establecer complejos en la órbita terrestre. La primera radicaba en la construcción y lanzamiento de estaciones de reducido tamaño, integradas por un solo módulo. La segunda era mucho más compleja, y se basaba en la construcción y lanzamiento de un módulo principal, o

módulo base, dotado de varios puertos de acoplamiento, al que posteriormente se le unirían otros módulos con funciones específicas y estructuras auxiliares, como paneles solares adicionales, grúas y plataformas para la realización de experimentos.

LOS COMPLEJOS ESPACIALES DE LA GUERRA FRÍA

El 19 de abril de 1971, la Unión Soviética se convirtió en la primera nación en poner en órbita una estación espacial, la Salyut 1 (palabra rusa que significa «saludo»). Este tipo de complejos, unimodulares, con una masa próxima a las 20 toneladas y del que se llegaron a lanzar nueve (en dos versiones, incluyendo dos ejemplares fallidos), tenían capacidad para albergar entre tres y seis cosmonautas, accediéndose a ellos mediante naves Soyuz, herencia del fallido programa lunar soviético. A bordo de las Salyut (o Saliut) se realizaron observaciones astronómicas y de la Tierra, cultivos hidropónicos y estudios biomédicos sobre el cuerpo humano, con misiones de duración variable, destacando la realizada a bordo de la Salyut 7 (véase la imagen superior de la página contigua y de la figura 1) entre mayo y octubre de 1984, de 237 días. La presencia en el espacio de estos complejos se extendió hasta el 7 de febrero de 1991, momento en que el último de ellos, la Salyut 7, abandonada en el espacio desde hacía cinco años, se desintegró al entrar en las capas altas de la atmósfera.

Por su parte, Estados Unidos lanzó su propia estación, la Skylab (nombre inglés que significa Laboratorio celeste), el 14 de mayo de 1973. También era de diseño unimodular, y tenía una masa de algo más de 76 toneladas (véase la imagen inferior de la página contigua). El desprendimiento durante el despegue de un escudo térmico dañó uno de los paneles solares del complejo orbital y causó una excesiva elevación de la temperatura interior. Once días después del lanzamiento, la primera tripulación llegó a la estación a bordo de una nave Apolo y logró solucionar parcialmente los problemas, garantizando la viabilidad del complejo. Tres tripulaciones, integradas cada una por tres astronautas, trabajaron a bordo de la Skylab, en periodos que oscilaron



La estación soviética Salyut 7 (arriba) y la estadounidense Skylab, ambas en órbita terrestre.

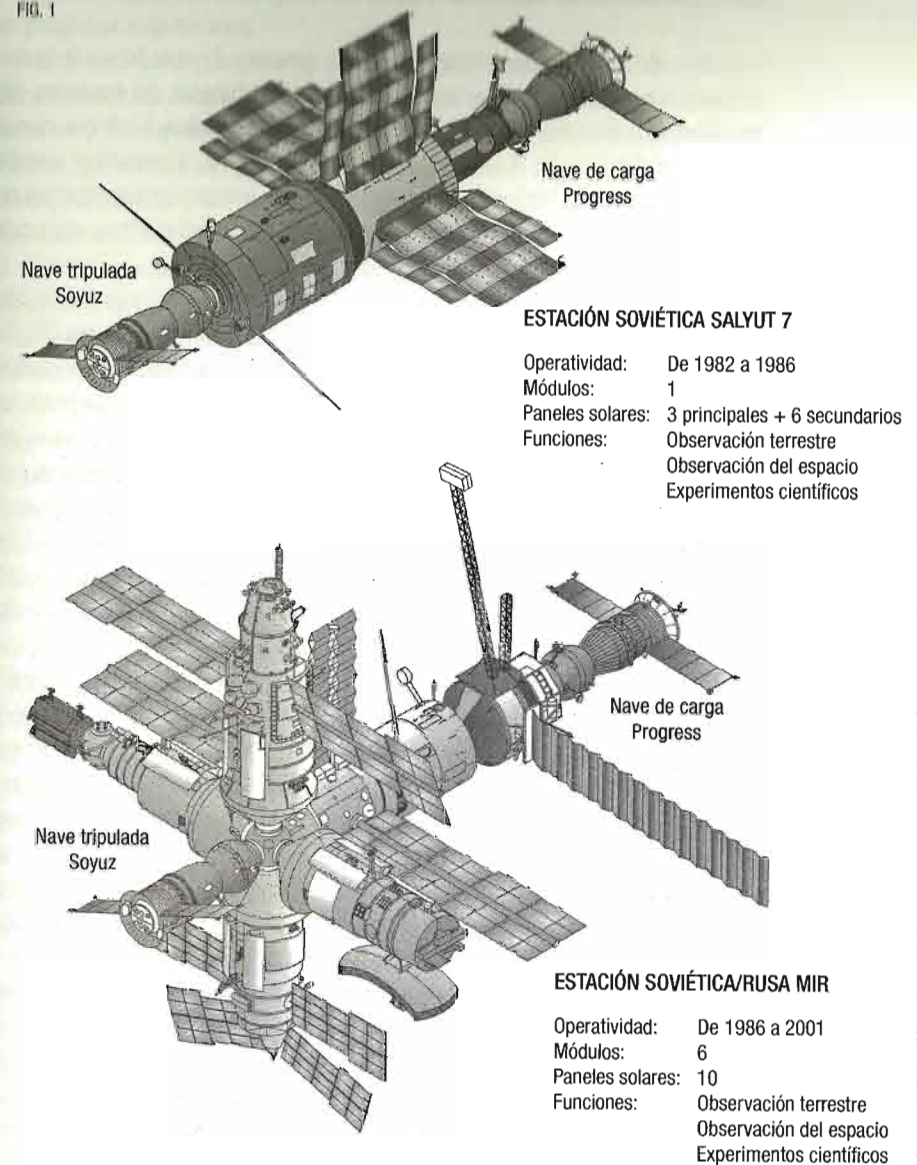
entre los 28 y 84 días. La última tripulación de la estación la abandonó en febrero de 1974, existiendo planes para reanudar la visita de astronautas a partir de 1980 con el transbordador espacial. Lamentablemente, el retraso en la puesta en marcha de este nuevo vehículo y el aumento de la actividad solar hicieron que la estación perdiera paulatinamente altitud y reentrara de manera descontrolada en la atmósfera el 11 de julio de 1979.

El primer paso en el ámbito de los complejos multimodulares fue dado por la URSS en febrero de 1986, con el lanzamiento de la primera estructura de una nueva estación espacial (figura 1), llamada Mir (que en ruso significa «Paz»). Basada en los complejos de la serie Salyut, era mucho más avanzada y su diseño permitió la incorporación de módulos especializados para la observación astronómica y la realización de experimentos científicos. En 1996, e integrada por seis módulos más un séptimo aportado por Estados Unidos para el acoplamiento de sus transbordadores, la estación rusa alcanzó su configuración final, convirtiéndose en el complejo orbital más grande hasta entonces ensamblado en el espacio, con una masa total superior a las 122 toneladas.

Tras la desintegración de la URSS en 1991, la Mir se convirtió en escenario de una intensa cooperación internacional en el espacio. Desde 1994 y hasta 1998 se desarrolló la llamada Fase 1, un programa que implicaba la participación de cosmonautas rusos en misiones estadounidenses y viceversa, la mayoría de las cuales tuvieron como destino la Mir. Otras potencias espaciales, como los miembros de la Agencia Espacial Europea y Canadá, también participaron en el marco de esta iniciativa, sentando las bases en las que se sustentaría el proyecto de la Estación Espacial Internacional (ISS, por sus siglas en inglés).

La Mir continuó recibiendo la visita de astronautas y cosmonautas hasta el 16 de junio de 2000, fecha en que los tripulantes de la última misión (la número 28 del programa) regresaron a la Tierra. La estación quedó entonces abandonada. El 23 de marzo del año siguiente, Rusia la hizo reentrar de manera controlada sobre el Pacífico Sur, evitando así que cualquier resto que sobreviviese al reingreso se precipitase sobre lugares poblados, al igual que hiciera con algunas de las estaciones antecesoras.

FIG. 1



Comparativa entre los diseños de las estaciones soviéticas Salyut 7 y Mir.

LAS ESTACIONES DEL SIGLO XXI

La idea de construir una estación espacial de carácter internacional comenzó a gestarse en los años ochenta. Se trataba originalmente de una iniciativa dirigida por Estados Unidos con la participación de la Agencia Espacial Europea, Canadá y Japón. Después de la desintegración de la URSS, las antiguas repúblicas soviéticas fueron invitadas a participar en la iniciativa, que tras varias denominaciones adoptó el acrónimo de ISS.

La construcción de una estación internacional entrañaba una serie de desafíos sin precedentes en los vuelos espaciales. Todas y cada una de las piezas de este mecano, muchas de las cuales se construían en diferentes países, debían permitir su interconexión en el espacio sin dificultades. Se utilizaron varios sistemas de acoplamiento para la unión de módulos y equipos rusos, estadounidenses, europeos y japoneses, y para permitir el atraque de naves tanto tripuladas como de reabastecimiento. Una serie de nodos, distribuidos en diferentes partes de la estación, fueron diseñados para permitir la expansión del complejo orbital con la paulatina adición de módulos y laboratorios.

El primer módulo de la estación, de origen ruso y bautizado con el nombre de Zarya (o Zaryá) (Amanecer), fue lanzado el 20 de noviembre de 1998 desde el cosmódromo de Baikonur a bordo de un cohete Protón. Catorce días después le seguiría el Unity (Unidad), un nodo construido en Estados Unidos y lanzado desde Florida a bordo del transbordador Endeavour. Actualmente, la ISS está compuesta por dos segmentos: el ruso, integrado exclusivamente por módulos de esta nacionalidad, y el estadounidense, que engloba tanto a módulos estadounidenses como al japonés Kibo (Esperanza) y al europeo Columbus (Colón). En total, la ISS cuenta con más de una docena de estructuras con espacio útil (entre módulos, nodos, laboratorios y puertos de acoplamiento), que permiten albergar a una tripulación de 6 astronautas, cuyos sistemas eléctricos son alimentados principalmente por cuatro gigantescos grupos de paneles solares. Su masa total supera las 419 toneladas, y su envergadura es similar a la de dos campos de fútbol, convirtiéndose así en

el ingenio espacial más grande de la historia. Véase la imagen de las páginas siguientes.

Aunque desde diciembre de 1998 la ISS había sido visitada por astronautas en misiones de ensamblaje y mantenimiento, no fue hasta el 2 de noviembre de 2000 cuando la estación recibió a sus primeros habitantes. Desde entonces, medio centenar de expediciones han ido relevándose entre sí, permitiendo de este modo una continua presencia humana a bordo del complejo orbital.

El reabastecimiento de la ISS se realiza mediante una flota internacional de vehículos de carga no tripulados, integrada por el ruso Progress (Progreso, usado también en las estaciones Salyut y Mir), el japonés Kounotori (Cigüeña Blanca), el Vehículo Automático de Transferencia europeo (operativo entre 2008 y 2015) y los estadounidenses Dragon y Cygnus (Cisne). Son lanzados cada pocos meses con alimentos y equipamiento a la ISS. El Dragon incluso puede retornar material a la Tierra, ya que está dotado de un sistema de protección térmica.

Tras la retirada de la flota de transbordadores de la NASA en julio de 2011, el acceso de las tripulaciones a la ISS se realiza exclusivamente con naves rusas Soyuz, aunque entre 2017 y 2018 tendrán lugar los primeros vuelos de prueba de los vehículos Starliner y Crew Dragon (conocido también como Dragon V2), con los que Estados Unidos volverá a disponer de capacidad para enviar a sus astronautas al complejo orbital desde su propio territorio.

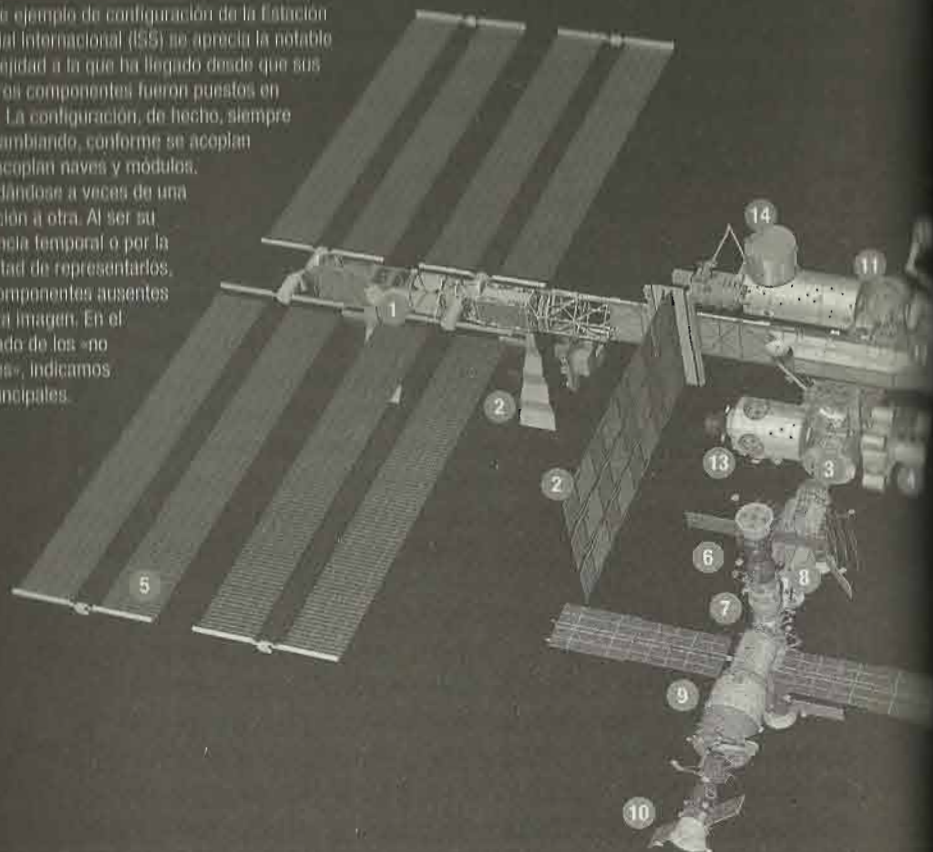
Los objetivos de la ISS se extienden más allá de comprender el comportamiento del cuerpo humano en ingravidez prolongada. Con el transcurso de los años, la estación se ha convertido en un complejo científico de clase mundial, en el que se prueban nuevos materiales para uso médico, industrial y doméstico, mucho más ligeros y resistentes. En el campo de la medicina, cabe destacar los estudios que se realizan sobre los glóbulos blancos, los cuales están sentando las bases para una mejor comprensión de enfermedades como la artritis reumatoide y el síndrome de






La estación espacial es un lugar mágico y un increíble centro científico.

SCOTT KELLY, COMANDANTE DE LA PRIMERA MISIÓN DE UN AÑO DE DURACIÓN EN LA ISS

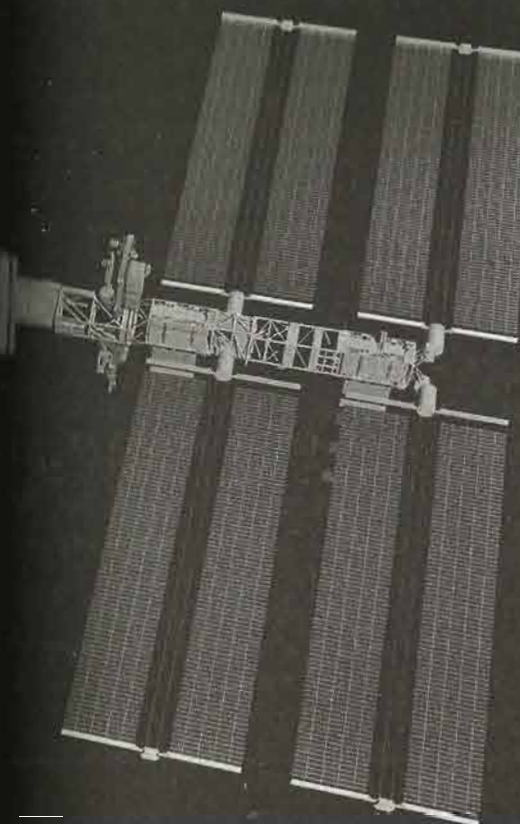
LA ESTACIÓN ESPACIAL INTERNACIONAL

En este ejemplo de configuración de la Estación Espacial Internacional (ISS) se aprecia la notable complejidad a la que ha llegado desde que sus primeros componentes fueron puestos en órbita. La configuración, de hecho, siempre está cambiando, conforme se acoplan y desacoplan naves y módulos, trasladándose a veces de una ubicación a otra. Al ser su presencia temporal o por la dificultad de representarlos, hay componentes ausentes en esta imagen. En el apartado de los «no visibles», indicamos los principales.



-  Armazón (1); radiadores (2); nodo Unity (3); esclusa Quest (4); paneles solares (5).
-  Carguero Progress (6); módulo de acoplamiento y esclusa Poisk (7); módulo Zarya (8); nave Soyuz (10).
-  Nodo Harmony (11); laboratorio Columbus (12); nodo Tranquility (13).
-  Laboratorio Kibo (14).
-  Brazo robot CanadArm2 (15).






La ISS es también un magnífico ejemplo de cooperación internacional; además de los países de la Agencia Espacial Europea (ESA), participan Rusia, Estados Unidos, Japón y Canadá. La participación se traduce a veces en partes de la estación fabricadas esencialmente en una sola nación. En la ISS se usan o han usado diversos tipos de naves para realizar los numerosos vuelos de carga necesarios; agregamos al mapa un repaso a esta flota, a la que cabría sumar el transbordador espacial estadounidense, tripulado pero que hizo muchos vuelos de transporte de suministros y componentes a la estación.



NAVES DE CARGA



NO VISIBLES

-  Laboratorio Destiny (situado entre los nodos Unity y Harmony).
-  Módulo inflable BEAM (en la popa del nodo Tranquility).
-  Módulo de acoplamiento y esclusa Pirs (en el puerto de atraque nadir del módulo Zvezda).
-  Minimódulo de investigación Rassvet (en el puerto de atraque nadir del módulo Zarya).
-  Módulo Multipropósito Permanente Leonardo (en el puerto de atraque delantero del nodo Tranquility).

inmunodeficiencia adquirida (SIDA), lo que en el futuro se traducirá en terapias más efectivas contra estas y otras dolencias. Por otra parte, la información obtenida a partir del proceso de adaptación de los astronautas a la microgravedad también está sirviendo para mejorar las técnicas de rehabilitación de aquellos enfermos que sufren daños medulares y cerebrales.

Asimismo, la Estación Espacial Internacional se ha convertido en un puesto avanzado de observación de la Tierra y del espacio, a partir del cual se obtienen imágenes de alta resolución y de utilidad muy diversa (vigilancia del ecosistema, agricultura, minería y recursos marinos, entre otros). Se trata, en definitiva, de un centro científico que aprovecha las cualidades del espacio para facilitar la vida a los habitantes de la Tierra.

La ISS permanecerá operativa, en principio, hasta finales de la década de 2020. Existen planes para la continuidad de la colaboración internacional en la órbita terrestre, que presumiblemente se verá materializada mediante la construcción y ensamblaje de una nueva estación espacial internacional, aunque ello no es seguro.

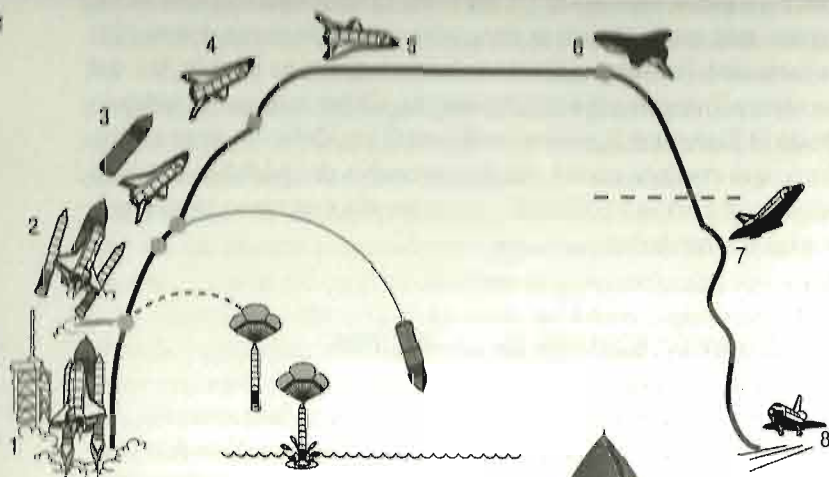
Por su parte, China, que inició sus actividades en el ámbito de los vuelos espaciales tripulados en 1999 con el lanzamiento de prueba de su nave Shenzhou 1 (cuyo nombre en chino significa «nave divina»), puso en órbita su primer complejo espacial el 29 de septiembre de 2011. Llamado Tiangong 1 (Palacio celestial), se trataba de una estación unimodular experimental, con un peso de 8 toneladas y construida a partir de segmentos derivados de su nave tripulada Shenzhou. Dos expediciones, integradas cada una por tres *taikonautas* (término utilizado a veces para definir a los astronautas chinos) y lanzadas a bordo de las naves Shenzhou 9 y 10 en 2012 y 2013, respectivamente, se acoplaron con la Tiangong 1 y realizaron experimentos durante estancias cortas. China concluyó las operaciones de la Tiangong 1 en marzo de 2016 y dio el siguiente paso con la Tiangong 2, un pequeño laboratorio científico con una masa de 8,6 toneladas, que fue lanzada el 15 de septiembre de 2016 y con una vida útil inicial de dos años. Tiene capacidad para albergar a dos o tres tripulantes en periodos de hasta 30 días, y permite el acoplamiento tanto de

naves tripuladas Shenzhou (la número 11 despegó el 17 de octubre y se unió a ella dos días después) como de carga, estas últimas llamadas Tianzhou (Navío celestial). Cuando la vida útil del laboratorio Tiangong 2 haya finalizado, China lanzará el módulo base de la Tiangong 3, una estación multimodular de gran envergadura, que crecerá con la adición sucesiva de módulos especializados en el periodo 2020-2022, alcanzando una masa total superior a las 60 toneladas.

EL PRIMER AVIÓN ESPACIAL DE LA HISTORIA

Dados los enormes costes generados en cada lanzamiento, especialmente durante el programa Apolo, surgió en Estados Unidos la necesidad de construir un vehículo que cumpliera dos objetivos principales: abaratar considerablemente el acceso al espacio, y ser multifuncional, capaz no solo de transportar astronautas, sino también de lanzar cargas pesadas y realizar tareas de reparación y reabastecimiento. Hasta entonces, cada misión era realizada por un vehículo de un solo uso, lo que encarecía notablemente el acceso espacial. Para conseguir abaratarlo, era imprescindible que el nuevo vehículo fuera reutilizable. Nació así el programa Space Shuttle, conocido en español como transbordador o lanzadera espacial.

El transbordador (figura 2) estaba integrado por cuatro estructuras fundamentales: el vehículo orbital reutilizable (conocido también como *orbitador*), de unas 100 toneladas de masa, con forma de avión y dotado de tres motores principales, dos motores de maniobra orbital y 44 motores de control de posición; un gigantesco tanque de combustible que alimentaba los motores principales del orbitador; y dos cohetes laterales de combustible sólido, que suministraban el empuje adicional necesario al orbitador para acceder al espacio. Salvo el tanque de combustible, que después de cumplir su cometido se desintegraba al reentrar en las capas altas de la atmósfera tras el lanzamiento, todo el conjunto era reutilizable. Los cohetes laterales, al quedar agotados, descendían en paracaídas al mar y eran recuperados para



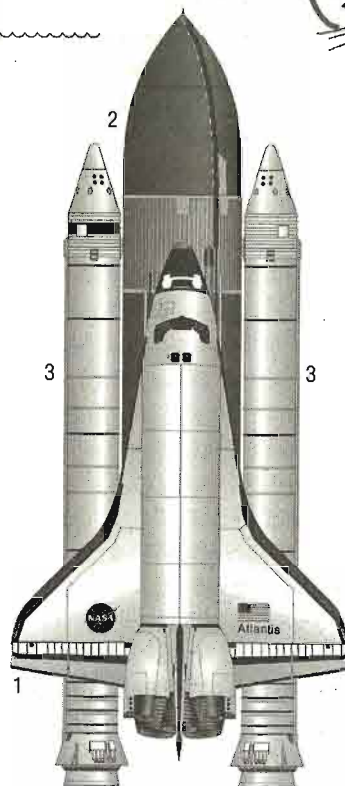
SECUENCIA DE LANZAMIENTO

(1) Despegue; (2) eyección de los cohetes laterales y descenso de estos al mar en paracaídas para su posterior reutilización; (3) eyección del tanque externo, que posteriormente se desintegra al entrar en la atmósfera; (4) encendido de los motores de maniobra orbital; (5) llegada a la órbita; (6) rotación y encendido de los motores de maniobra orbital para reducir velocidad y, con ella, altitud; (7) reingreso atmosférico; (8) aterrizaje.

ESTRUCTURAS DEL TRANSBORDADOR

(1) Orbitador. Dotado de 3 motores principales, 2 de maniobra orbital y 44 de control de posición. Dispone de una bodega de carga de 18 m de largo por 4,5 m de ancho. (2) Tanque externo de combustible líquido que alimenta los motores principales del orbitador. (3) Cohetes laterales de combustible sólido.

Perfil de misión y disposición del Transbordador Espacial de la NASA.



su uso en siguientes vuelos. El orbitador podía permanecer en el espacio hasta un máximo de unos 20 días y, finalizada su misión, reentraba en la atmósfera y tomaba tierra sin la asistencia de motores en una pista de aterrizaje especialmente larga, de 4,5 km.

Hasta el nacimiento del transbordador, los escudos térmicos empleados eran de carácter *ablativo*, es decir, iban desintegrándose paulatinamente durante el reingreso en la atmósfera terrestre sin llegar a afectar a las estructuras críticas de las naves espaciales. Para un vehículo reutilizable, este tipo de protección no constituía una opción, así que se diseñó un nuevo escudo basado en losetas y fieltro de resistencia térmica variable, contruidos con base de sílice y carbono, cuya función era absorber el calor generado durante el reingreso atmosférico sin deteriorarse y sin afectar al propio vehículo.

La NASA construyó inicialmente cuatro vehículos de este tipo, bautizados con los nombres de Columbia, Challenger, Discovery y Atlantis. El primer vuelo de este nuevo programa espacial fue realizado por el Columbia el 12 de abril de 1981.

En total, el transbordador efectuó 135 vuelos, realizando funciones de laboratorio de investigación científica de microgravedad, plataforma para el despliegue y reparación de satélites de comunicaciones y telescopios orbitales, y lanzamiento de ingenios con destino a otros cuerpos celestes. Pero su papel fundamental comenzó en 1998, con el ensamblaje de las primeras estructuras de la ISS. Desde aquel año y hasta su retiro en julio de 2011, 37 vuelos del transbordador fueron necesarios para completar la construcción de la estación espacial.

De los 135 vuelos, dos de ellos, realizados por el Challenger en 1986 y por el Columbia en 2003, finalizaron trágicamente con la pérdida de vidas humanas. La desaparición del Challenger propició la construcción del Endeavour para sustituirlo. Se dice del transbordador que era la máquina más compleja jamás construida, constituida por más de dos millones de piezas y me-

El vehículo explota literalmente al partir de la plataforma. El simulador te sacude un poco, pero el despegue real te hace vibrar en cuerpo y alma.

MIKE McCULLEY, ASTRONAUTA DE LA NASA

canismos. Desde el accidente del Columbia y hasta su retiro en 2011, la NASA consideró al transbordador como un vehículo experimental.

Por su parte, la URSS construyó su propia versión del transbordador, destinada al transporte de cosmonautas y reabastecimiento de la estación Mir. Las increíbles coincidencias en dimensiones y características del orbitador soviético hacían pensar que este era, en realidad, una copia de su homólogo estadounidense, con algunas diferencias que lo hacían más práctico en determinadas circunstancias, entre ellas la posibilidad de realizar vuelos automáticos sin tripulación. La URSS llegó a completar la construcción de un único vehículo, llamado Buran (que en ruso significa «tormenta de nieve»), aunque empezó a construir otros dos. El 15 de noviembre de 1988, el Buran realizó la primera y única misión del programa del transbordador soviético. Se trató de un vuelo no tripulado de 205 minutos de duración. Poco después, las dificultades económicas que sufría en aquella época la URSS obligaron a la cancelación del programa.

INDUMENTARIA PARA TRABAJAR EN EL ESPACIO EXTERIOR

El espacio es un ambiente en absoluto confortable para el ser humano. No existe presión y las temperaturas son extremas, con una diferencia entre el sol y la sombra de más de 200 °C. La radiación procedente del Sol se torna peligrosa al no existir una atmósfera que la atenúe, como ocurre en la Tierra. Otro inconveniente añadido es la presencia de pequeños fragmentos de roca espacial (micrometeoroides) y de metales desprendidos de lanzamientos anteriores, que se desplazan por la órbita de la Tierra a velocidades cercanas (y, a veces, superiores) a los 28000 km/h, convirtiéndose en auténticos proyectiles capaces de perforar estructuras resistentes. Por tanto, para que un astronauta pueda trabajar en el espacio es imprescindible el uso de un traje que le suministre el soporte vital básico y la mejor protección posible contra las amenazas anteriormente mencionadas.



Arriba, el astronauta Rick Mastracchio, de la misión STS-118 del transbordador espacial estadounidense, durante una actividad extravehicular realizada con una EMU.

A la izquierda, el cosmonauta ruso Mijaíl Tyurin realiza un paseo espacial con un traje Orian durante la Expedición 14 a la ISS.



Desde que Alekséi Leónov *paseara* por primera vez por el espacio, los trajes espaciales para la realización de actividades extravehiculares han experimentado una continua evolución. Actualmente se emplean tres tipos, todos ellos reutilizables: el estadounidense EMU (siglas, en inglés, de Unidad de Movilidad Extravehicular), el ruso Orlan (Águila marina) y el chino Feitian (Volar por el cielo, versión modificada del Orlan). En la página anterior se muestran fotografías de los dos primeros. Desde cierto punto de vista, estos trajes son auténticas naves espaciales autónomas, conteniendo todos los elementos necesarios para el soporte vital. También están dotados de un sistema de comunicaciones que permite al ocupante mantenerse en contacto con sus compañeros en el espacio y con el centro de control de la misión en tierra.

Componentes y accesorios

Los trajes espaciales, salvo algunas diferencias entre sí, están integrados por dos estructuras fundamentales: el sistema de soporte vital, comúnmente conocido como la mochila, y el propio traje que envuelve al astronauta, protegiéndole del medio espacial. La mochila proporciona la presión y el aire necesarios para la supervivencia del astronauta. El traje está dotado de un circuito interno por el que circula agua fría y caliente para regular la temperatura corporal del astronauta, y de múltiples capas de tejido que le protegen contra la radiación solar y el impacto de micro-meteoroides. En él se acoplan importantes componentes, como el casco, equipado de varias viseras y visores que protegen los ojos del astronauta al filtrar un elevado porcentaje de la luz solar. El casco está provisto igualmente de un sistema de iluminación para que el usuario pueda trabajar en ambientes nocturnos. Otros componentes de vital importancia son los guantes y las botas, que permiten al astronauta estar en contacto con las estructuras sobre las que trabaja en el espacio exterior. Una computadora situada en el pectoral del traje regula las funciones del mismo.

El primer ser humano en consumir alimentos en el espacio fue el soviético Yuri Gagarin, a bordo del Vostok 1. Durante sus 108 minutos de vuelo, consumió dos porciones de puré de carne y una de chocolate, envasadas en tubos similares a los de la pasta para dientes. En aquellos años, la tónica era someter a los alimentos a procesos poco sofisticados, como la compresión en pequeños cubos (para facilitar su consumición) y la reducción a polvo congelado de determinadas sustancias. Aquellos alimentos proporcionaban al tripulante los nutrientes necesarios a lo largo de su misión, pero su sabor dejaba bastante que desear. Afortunadamente, aquellos vuelos eran de corta duración y las incomodidades asociadas al consumo de los alimentos (dificultad para reconstituirlos, y tener que realizar esfuerzos para extraerlos de los tubos) eran soportables.

De cubitos congelados a menús de gourmet

La alimentación ha ido cobrando importancia en función de la duración de los vuelos. A partir de la década de 1970, se introdujeron mejoras en los menús, atendiendo no solo a los valores nutricionales sino también al sabor. Actualmente, los alimentos espaciales están clasificados en cuatro tipos: rehidratables, termoestabilizados, irradiados y naturales. Los rehidratables están constituidos por alimentos sólidos y bebidas, a los que se les extrae la práctica totalidad del agua. Una vez en el espacio se reconstituyen al añadirles la correspondiente cantidad de esta. La técnica supone una disminución del peso durante el lanzamiento y del volumen de almacenamiento en la ISS (el abastecimiento de agua a la estación se realiza con naves de carga). El agua, fría o caliente en función del tipo de alimento, debe añadirse momentos antes de consumirse. El segundo tipo está integrado por los alimentos termoestabilizados, es decir, sometidos previamente a una elevación de la temperatura hasta cotas en las que los microorganismos mueren, eliminando así la posibi-

lidad de intoxicación. El tercer tipo, los irradiados, lo componen principalmente aquellos cuya base es la carne. Se someten a un campo de radiación para destruir aquellos microorganismos

que pudieran suponer un riesgo para la salud de los astronautas. Son muy similares a los alimentos termoestabilizados ya que se encuentran listos para consumir y solamente requieren un calentamiento previo. En cuanto a los alimentos naturales, estos se presentan tal cual y no sufren ningún tipo de proceso previo a su consumo.

Los menús espaciales son ahora mucho más variados que en décadas pasadas. En ellos podemos encontrar platos como el caldo de pollo, los macarrones con queso, la carne con champiñones, los tomates con berenjenas, el pollo, el jamón, los frutos secos y las galletas, y bebidas como el té, el café y los zumos de frutas.

VIDA COTIDIANA EN EL ESPACIO

En las primeras misiones tripuladas, los astronautas permanecían en sus asientos por espacio de minutos u horas sin necesidad de asearse, pero las cosas cambiaron radicalmente en misiones de mayor duración. Las primeras estaciones espaciales contaban con duchas herméticamente cerradas cuya dificultad de uso y sus frecuentes averías demostraron no ser prácticas. Se optó entonces por un aseo corporal «en seco», es decir, mediante el uso de toallas humedecidas e impregnadas de un gel o champú que no precisa de aclarado. En lo referente a la higiene bucal, los astronautas utilizan cepillos convencionales a los que se añade algo de agua (que, por tensión de superficie, queda adherida a estos) y un dentífrico especialmente diseñado para ser tragado tras el cepillado, eliminando así la necesidad de escupir la pasta. Cortarse el pelo y afeitarse son operaciones que se realizan igual que en la Tierra, si bien han de utilizarse pequeñas aspiradoras para evitar que los pelos floten libremente y obstruyan los filtros de aire.

CHRIS HADFIELD, ASTRONAUTA CANADIENSE



Uno de los dos cuartos de aseo ubicados a bordo de la ISS.

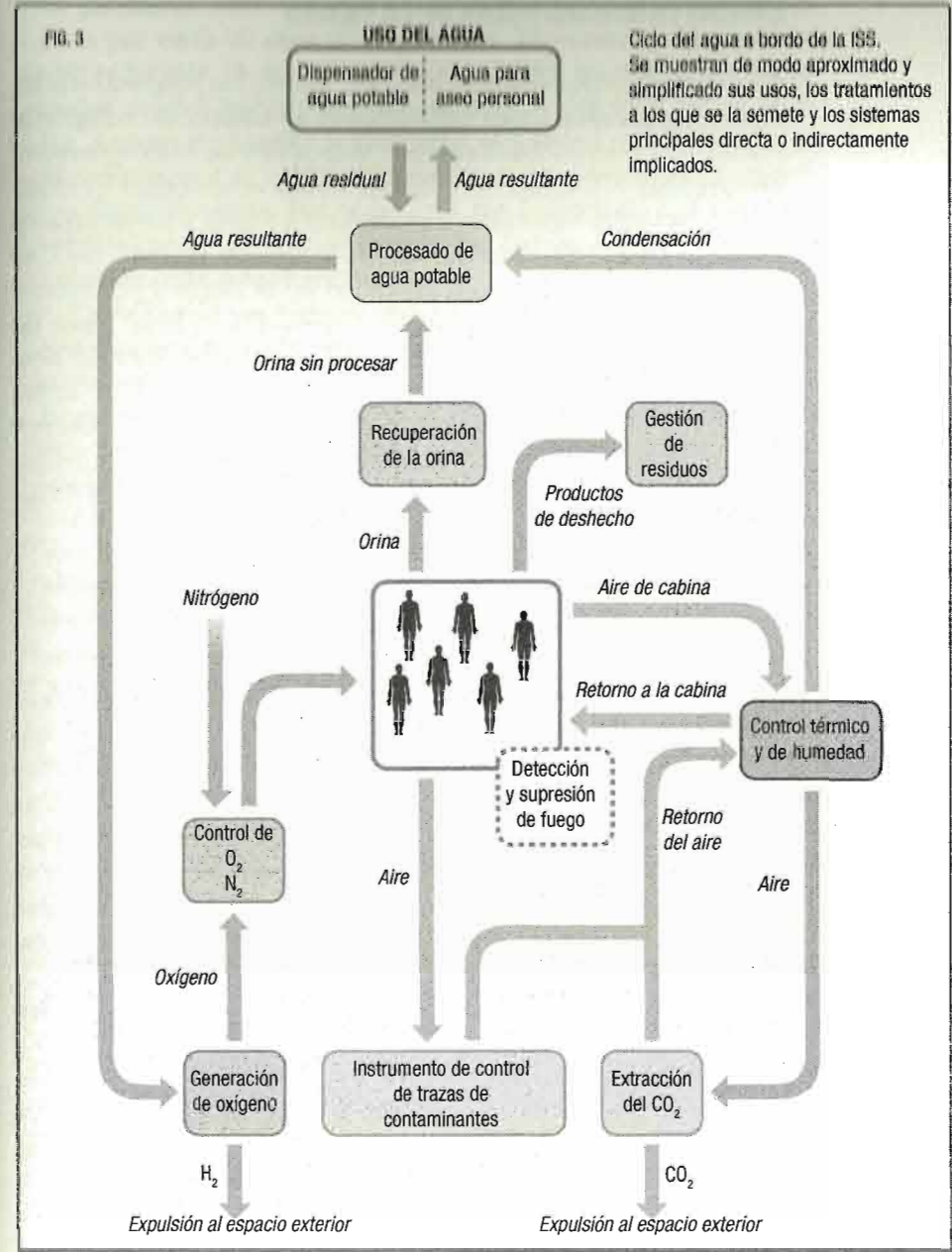
La llamada de la naturaleza en microgravedad

La realización de las funciones fisiológicas es la parte más incómoda de un vuelo espacial. En los vuelos previos a la era de las estaciones y del transbordador, no había cuartos de aseo, por lo que las funciones fisiológicas debían realizarse en el propio traje, el cual estaba dotado de colectores de orina y de heces. Afortunadamente, hoy en día esta técnica se encuentra en desuso dado que los vehículos poseen habitáculos destinados a tales propósitos. La ISS dispone de dos cuartos de aseo, denominados WHC (siglas de *Waste and Hygiene Compartment*, Compartimento de Higiene y Residuos), los cuales cuentan con una manguera dotada de un sistema de succión de aire, en cuyo extremo el astronauta coloca una boquilla personal para orinar. La succión conduce la orina hacia un depósito, donde sufre un proceso de filtrado y depuración, convirtiéndose en agua potable (figura 3). Los WHC disponen también de un dispositivo similar a un inodoro, sobre el que el astronauta debe «sentarse» para hacer las deposiciones sólidas. Las heces son conducidas a una bolsa de plástico a través de un sistema de succión de aire, siendo posteriormente compactada y almacenada para su posterior eliminación. Los cuartos de aseo cuentan igualmente con dispensadores de toallas secas y húmedas para el aseo personal.

Conciliando el sueño

Los ciclos de sueño mantenidos en el espacio son similares a los terrestres, es decir, próximos a las ocho horas. A bordo de la ISS, cada astronauta cuenta con su propio dormitorio, equipado con un saco (similar al usado en las acampadas) y otros efectos personales. El saco, con aberturas laterales para poder sacar los brazos, se encuentra sujeto a la pared del dormitorio para evitar que el astronauta flote libremente durante el sueño. Si el ruido ambiente es molesto, los astronautas pueden utilizar tapones para los oídos.

FIG. 3



LARGAS ESTANCIAS FUERA DE LA TIERRA

Como se explicaba con anterioridad, uno de los propósitos principales de las estaciones espaciales es el estudio del comportamiento del cuerpo humano en condiciones de microgravedad prolongada, al objeto de conocer cómo reaccionará el organismo en viajes espaciales con destino a Marte y otros lugares remotos. El cuerpo humano ha evolucionado durante toda su historia en el ambiente con gravedad de la Tierra y por eso no es fácil predecir todos los cambios que sufrirá a largo plazo un individuo sometido a microgravedad. Con la experiencia acumulada en misiones espaciales tripuladas de larga duración, ha sido posible detectar diversos cambios, pero no afectan por igual al hombre y a la mujer, ni los mecanismos que los producen se conocen bien en todos los casos (véase la imagen de las páginas siguientes).

CUERPO HUMANO Y MICROGRAVEDAD

En el momento de escribir estas líneas, el récord de permanencia en el espacio es de 438 días, y lo ostenta el cosmonauta ruso Valeri Poliakov, que despegó con la misión Mir 15 el 8 de enero de 1994 y volvió a la Tierra con la expedición Mir 17 el 22 de marzo de 1995. A su regreso, Poliakov, como otros participantes en misiones de larga duración, tuvo que ser asistido por el equipo de apoyo que participó en las operaciones de aterrizaje, dado que su condición física había mermado con el transcurso del tiempo, siendo incapaz de sostenerse en pie por sí mismo.

En ingravidez, el cuerpo humano experimenta cambios de forma muy rápida. El flujo sanguíneo se incrementa en el torso y extremidades superiores, a la vez que disminuye en las piernas. El espacio intervertebral se amplía, la flora microbiana del organismo se concentra de manera distinta a como lo hace en la Tierra y el sistema inmunitario experimenta cambios significativos. El nervio óptico también se ve afectado, y las posibilidades de desarrollar cataratas aumentan. Los huesos sufren igualmente

un paulatino deterioro, con pérdidas de hasta un 1,5% de masa ósea por cada 30 días de exposición. El corazón experimenta una reducción de su volumen y capacidad, mientras que los riñones pueden hacerse propensos a sufrir cálculos. Estos efectos, aunque no pueden erradicarse, sí pueden retrasarse con la alimentación y la realización de sesiones periódicas de ejercicio físico intensivo. Por otra parte, los centros de investigación espacial están intentando desarrollar fármacos para compensar químicamente este deterioro.

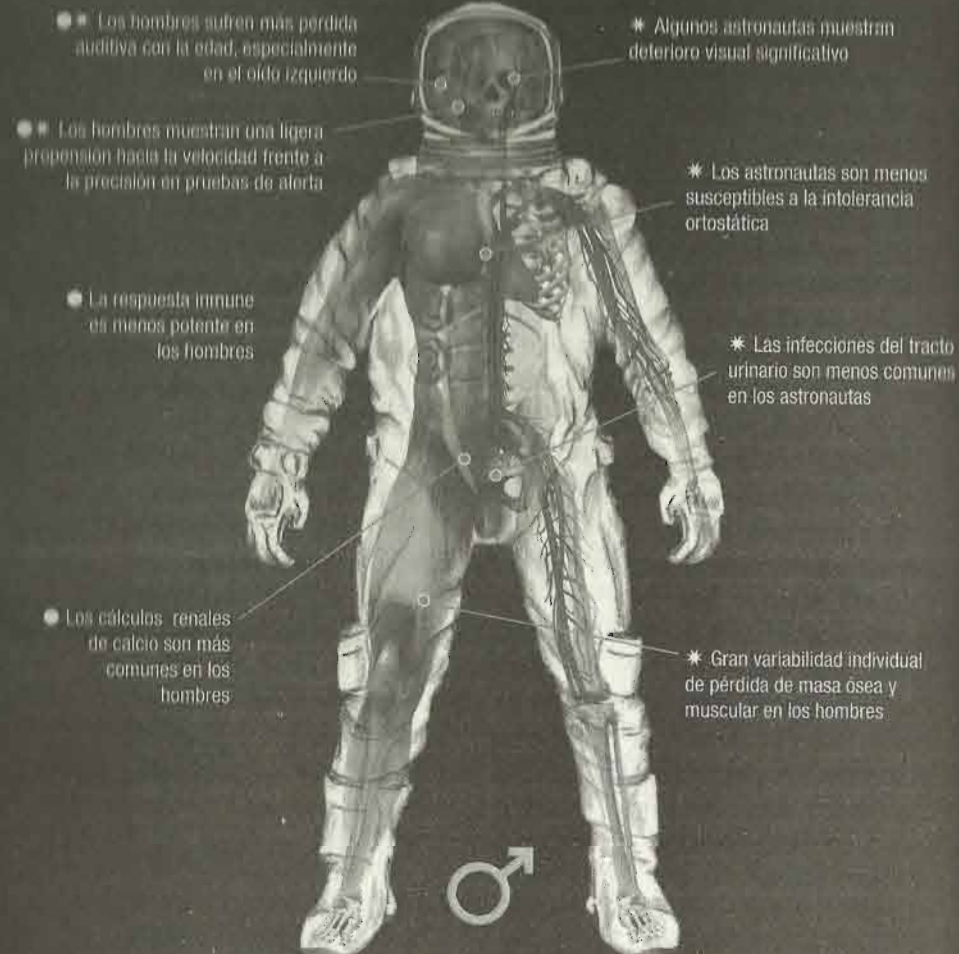
La radiación también es un problema potencial en las misiones de larga duración. Aunque la Tierra se encuentra, en buena parte, protegida por su campo magnético, los rayos cósmicos y la radiación solar suponen un problema en vuelos largos en órbita terrestre, pudiendo provocar mutaciones en el ADN, lo que aumenta el riesgo de desarrollar ciertos tipos de cáncer.

Las misiones a bordo de la ISS tienen una duración media de seis meses, aunque han comenzado a realizarse experiencias próximas al año, como la protagonizada por el astronauta estadounidense Scott Kelly y el cosmonauta ruso Mijaíl Korniyenko entre el 27 de marzo de 2015 y el 2 de marzo de 2016. Mientras Scott se encontraba en el espacio, su hermano gemelo idéntico, Mark Kelly (astronauta retirado de la NASA), participó en una serie de estudios genéticos comparativos. Algunos de estos experimentos incluyeron la recopilación de muestras de sangre así como pruebas fisiológicas y físicas. Mediante ellos se intenta determinar cualquier proceso degenerativo o evolutivo que haya tenido lugar en el cuerpo de Scott como consecuencia de la exposición prolongada a la microgravedad.

El factor psicológico es igualmente importante en una misión de larga duración. Es muy frecuente que los astronautas trabajen en solitario en diferentes módulos durante horas, compartiendo solamente el tiempo de la comida. El cosmonauta Valeri Ryumin, tripulante de la estación soviética Salyut 6, dejó constancia en su diario del estrés que supone vivir durante largos periodos de tiempo aislado en el espacio: «Logras reunir todas las condiciones necesarias para asesinar si encierras a dos hombres en una cabina de 5 x 6 m y los dejas juntos durante dos meses». Al obje-

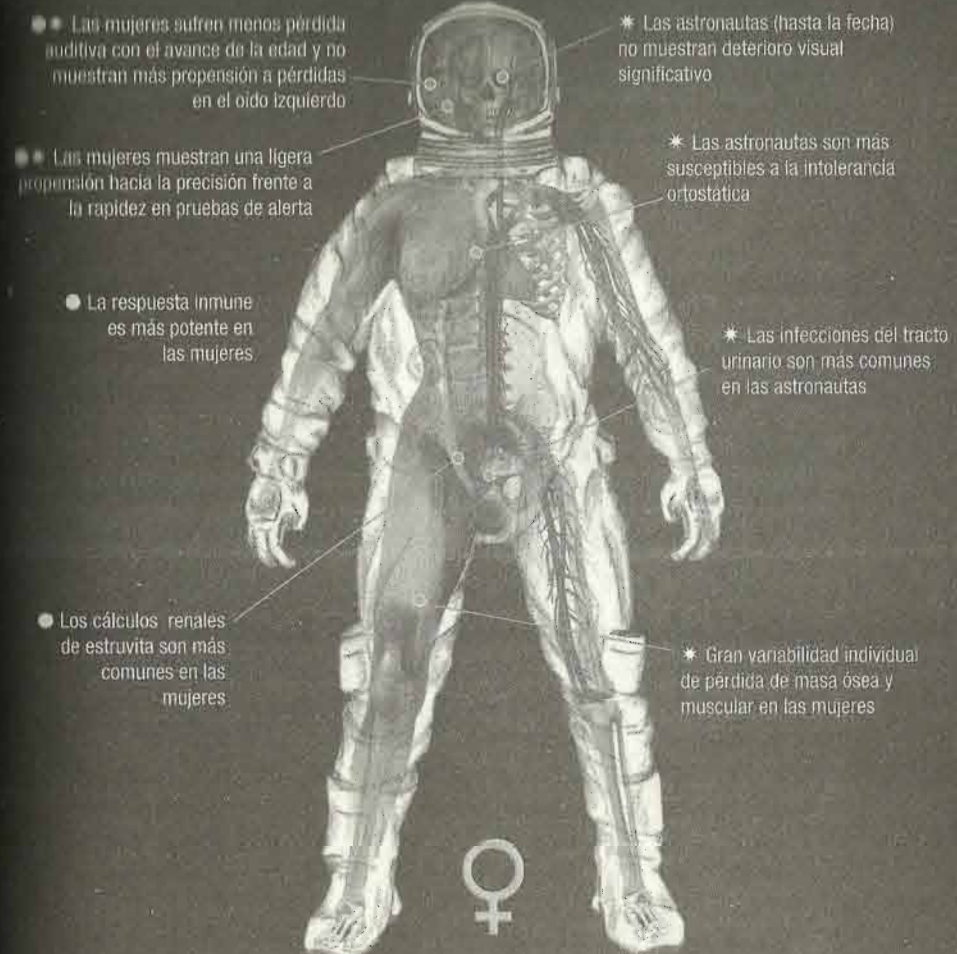
LOS EFECTOS DE LA MICROGRAVEDAD EN EL CUERPO HUMANO

ASTRONAUTA (HOMBRE)



- Efectos en la salud observados en la Tierra
- * Efectos en la salud observados en el espacio

ASTRONAUTA (MUJER)



Hay cambios experimentados por el cuerpo humano en microgravedad prolongada de los que se sabe a ciencia cierta que son consecuencia de esta, mientras que las causas de otros todavía no están claras. Además, hay diferencias entre la mujer y el hombre en la incidencia de tales cambios.

to de paliar los posibles efectos del aislamiento, se suelen programar con frecuencia videoconferencias entre los astronautas y sus respectivos familiares y amigos cercanos, lo que fomenta la sensación de proximidad entre ellos.

En definitiva, todos estos estudios y experimentos serán de vital importancia en el momento en que el ser humano decida embarcarse en el desafío de abandonar la órbita de la Tierra para adentrarse en el espacio profundo, en el marco de misiones de exploración con destino a otros astros.

Exploración robótica planetaria

El éxito en el envío de naves no tripuladas para estudiar la Luna a partir de 1959 sentó las bases de la exploración de los cuerpos celestes que pueblan nuestro sistema solar, la cual vivió su época dorada durante las décadas de 1970 y 1980 con el lanzamiento de ingenios para estudiar los gigantes gaseosos.

La exploración de nuestro sistema solar ha venido desarrollándose paralelamente a los vuelos espaciales tripulados. Tras la Luna, los primeros planetas en ser visitados fueron Mercurio, Venus y Marte por su proximidad a la Tierra. Los dos últimos han llamado especialmente la atención de los científicos, dado que se encuentran en una región del sistema solar en la que la vida pudo haber florecido en algún momento de la evolución planetaria. La sociedad de finales del siglo xix y buena parte del xx creía, de manera generalizada, que Venus y Marte podían albergar civilizaciones inteligentes, lo que suscitó la imaginación de muchos autores, como se explicó en el primer capítulo.

Sin embargo, con el envío de los primeros ingenios con destino a estos planetas, esa creencia se fue desvaneciendo al demostrarse que se trataba de mundos en los que no se evidenciaba la presencia de tales civilizaciones. A pesar de todo, la búsqueda de vida ha sido una constante dentro de la exploración de nuestro sistema solar. A principios del siglo xx surgió una corriente de pensamiento encabezada por el científico sueco Svante Arrhenius, quien publicó en 1908 un trabajo titulado *Hipótesis de la panspermia*, en el cual explicaba que la vida en la Tierra podría

no ser autóctona, sino haberse desarrollado a partir de unas esporas que habrían alcanzado nuestro planeta tras recorrer millones de kilómetros en el espacio, impulsadas por el viento estelar emitido por una estrella situada en otro sistema planetario. El físico y matemático británico William Thomson (lord Kelvin) fue otro de los defensores de la hipótesis del origen extraterrestre de la vida. A diferencia de Arrhenius, Thomson creía que los primeros microorganismos llegaron a la Tierra transportados por asteroides, meteoroides y/o cometas. La hipótesis de la panspermia es hoy de gran interés para la comunidad científica, siendo la idea de Thomson la más plausible y la que más se ha investigado en el marco de la exploración del sistema solar.

SONDEANDO LOS MISTERIOS DEL SOL

El Sol es el cuerpo más grande de nuestro sistema solar, con un tamaño equivalente a un millón de planetas como la Tierra. Se trata de una gigantesca bola de hidrógeno, en cuyo interior tienen lugar reacciones nucleares que convierten a este elemento en helio. La temperatura en la superficie del Sol supera los 5000 °C, mientras que en el núcleo se cree que las cotas se sitúan en torno a los 15 millones de grados. Aunque no es un planeta, su estudio desde el espacio está enmarcado en el ámbito de la exploración planetaria.

Las primeras misiones que observaron el Sol más allá de la atmósfera terrestre fueron iniciadas pocos años después del lanzamiento del Sputnik 1. En 1962, la NASA inició un programa con el que pretendía estudiar los ciclos de actividad que describe nuestra estrella, para lo cual lanzó unos ingenios llamados Observatorios Solares Orbitales (OSO). El 7 de marzo despegaba el primero de estos satélites, OSO 1, el cual suministró información sobre 75 llamaradas solares hasta su última transmisión el 6 de agosto del año siguiente. A excepción del OSO 3, todos los observatorios de su clase retornaron datos muy valiosos, incluyendo imágenes del disco solar y de la corona en rangos de luz visible (OSO 2, en 1965), y estudios tanto en ultravioleta como en rayos X (OSO 3 y 4, lanzados en 1967).

La NASA también utilizó la estación Skylab para explorar el Sol gracias al telescopio Apollo instalado en el complejo orbital, con el que los astronautas pudieron realizar observaciones durante los años 1973 y 1974.

En ese último año, Alemania y Estados Unidos pusieron en marcha un programa de observación solar desde el espacio, llamado Helios. Se trataba de dos sondas, Helios A y Helios B, lanzadas el 10 de diciembre de 1974

y el 15 de enero de 1976, respectivamente, cuyo propósito era adquirir datos desde una órbita lo más cercana posible al centro del sistema solar. Estos ingenios fueron situados a una distancia de 46 (Helios A) y 43 millones de kilómetros del Sol (Helios B).

Por su parte, la URSS también realizó en 1975 observaciones solares en su estación Salyut 4, de manera análoga a como lo hicieron los estadounidenses a bordo de la Skylab.

La NASA continuó su estudio del astro rey con la Solar Maximum Mission, más conocida como Solar Max. Lanzado el 14 de febrero de 1980, este satélite estaba dotado de espectrómetros de rayos gamma y rayos X, coronógrafos y otros dispositivos con el propósito de estudiar el comportamiento del Sol durante el periodo de su máxima actividad. El satélite sufrió una avería en diciembre del mismo año que le impidió continuar con su tarea. La NASA determinó que la mejor opción era emplear el transbordador espacial para repararlo, así que tras despegar el 6 de abril de 1984, los astronautas de la misión STS-41C del Challenger lograron capturarlo y reparar sus sistemas, pudiendo así reanudar sus operaciones.

A partir de la década de 1990, una nueva generación de ingenios espaciales tomó el testigo en la exploración del Sol. El 2 de diciembre de 1995 partía desde Cabo Cañaveral el Observatorio Heliosférico y Solar (SOHO, por sus siglas en inglés), un proyecto conjunto entre la NASA y la ESA para estudiar el Sol desde su núcleo hasta su parte más externa, la corona. A diferencia de sus predecesores, el SOHO fue colocado en el primero de los *puntos de Lagrange*, una zona situada a 1,5 millones de kilómetros de la

La mente y el espíritu humanos crecen en función del espacio en el que se les permite desarrollarse.

KRAFFT A. EHRLICH, PIONERO DE LOS COHETES

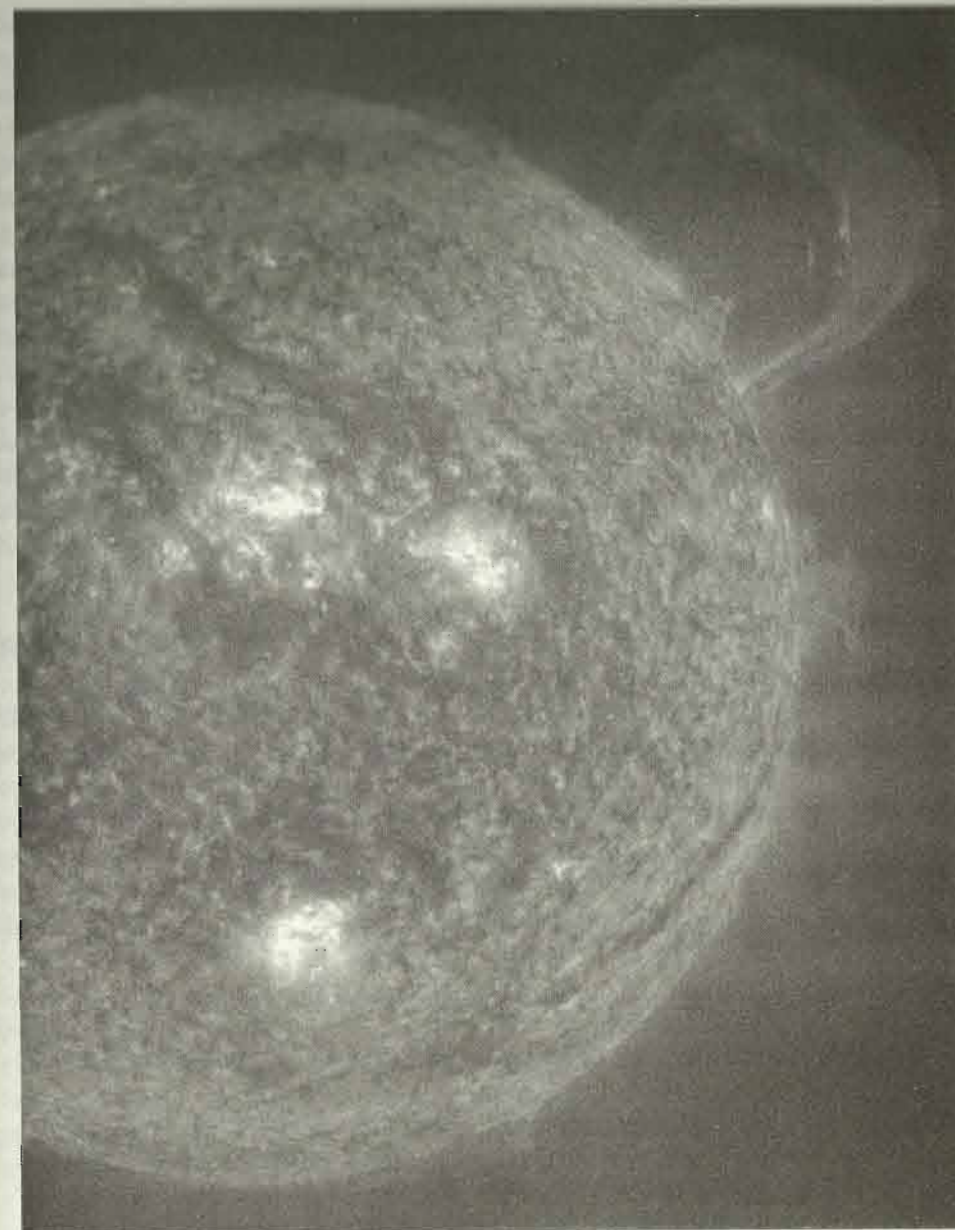
Tierra en la que las fuerzas gravitatorias del Sol y de nuestro planeta entran en equilibrio. De este modo, el observatorio conseguía una visión ininterrumpida del disco solar. Gracias al SOHO se han obtenido las primeras imágenes de la zona de convección de la estrella, datos sobre su rotación interna y del viento solar. Asimismo, sus observaciones han permitido determinar la existencia de tornados en la superficie del astro rey y ondas que se desplazan a lo largo de su corona.

El 11 de febrero de 2010, la NASA puso en órbita geoestacionaria inclinada al Observatorio de Dinámica Solar (SDO, por sus siglas en inglés), con el propósito de continuar realizando investigaciones sobre la actividad solar y su influencia en otros astros (a esta influencia se la conoce como *meteorología espacial*), midiendo la irradiación del Sol en el ultravioleta extremo, la cual es clave para comprender la estructura y composición de las altas capas de la atmósfera terrestre. El SDO también está dotado de un sistema que le permite captar imágenes de la actividad magnética del Sol y de los helioseísmos, terremotos producidos en su superficie.

Los estudios del Sol y de su actividad realizados por estos ingenios y otros como los satélites Cluster de la ESA y STEREO de la NASA, nos proporcionan una información muy valiosa que nos ayudará a reaccionar ante eventos que pudieran comprometer el funcionamiento normal de nuestra sociedad. Tal es el caso de las tormentas solares, cuyos efectos extremos pueden derivar en importantes averías en centrales eléctricas, dejando sin suministro a extensos territorios durante periodos largos. De acuerdo con un estudio elaborado por la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos en 2008, una violenta tormenta solar podría causar daños económicos al país americano veinte veces superiores a los provocados por el huracán Katrina.

MERCURIO: UN PLANETA DE TEMPERATURAS EXTREMAS

Mercurio es, junto a Venus, la Tierra y Marte, un planeta perteneciente al sistema solar interior, una zona del espacio que comprende desde el Sol hasta el Cinturón Principal de Asteroides.



El Sol captado en el rango del ultravioleta extremo por el observatorio SOHO el 14 de septiembre de 1999.

Mercurio carece casi por completo de atmósfera, por lo que sus cotas de temperatura se sitúan entre los 350 °C durante el día (427 °C en diversas zonas ecuatoriales) y los -173 °C durante la noche. Además, al ser el planeta más próximo al Sol, se encuentra expuesto a un continuo e intenso bombardeo de partículas emitidas por nuestra estrella.

La historia de la exploración de Mercurio se inició el 3 de noviembre de 1973 con el despegue de la nave estadounidense Mariner 10. Lanzado desde Cabo Cañaveral, este ingenio espacial estaba provisto de un conjunto de instrumentos científicos, entre ellos un equipo de cámaras, espectrómetros ultravioleta y un radiómetro infrarrojo. En su camino hacia Mercurio, el Mariner 10 pasó a 5 768 km de Venus el 5 de febrero de 1974, enviando a la Tierra 4 165 imágenes y datos científicos de este. La nave fue la primera en utilizar el campo gravitatorio de un planeta para variar su trayectoria. Esta variación le permitió alcanzar Mercurio. Durante la primera de sus tres aproximaciones, que tuvo lugar el 29 de marzo y en la que alcanzó una distancia mínima de 703 km, tomó imágenes del planeta que mostraban una superficie salpicada de cráteres, muy similar a la de la Luna. Sus instrumentos detectaron la presencia de un campo magnético muy débil, lo que implica que Mercurio se encuentra mucho más expuesto a la radiación solar que aquellos planetas que cuentan con un campo magnético fuerte, como la Tierra. La segunda aproximación y la tercera tuvieron lugar respectivamente el 21 de septiembre de 1974 y el 16 de marzo de 1975, siendo esta última la que estableció el acercamiento máximo de la nave al planeta, de 327 km. La misión, a pesar de los problemas técnicos sufridos durante su etapa inicial de viaje, finalizó con éxito el 25 de marzo.

Mercurio no volvió a ser visitado hasta el 14 de enero de 2008, fecha en que un nuevo ingenio de la NASA, llamado MESSENGER (acrónimo inglés que como palabra equivale a Mensajero, pero cuyas siglas corresponden a Superficie, Ambiente Espacial, Geoquímica y Cálculo de la Distancia de Mercurio), realizó el primero de sus tres encuentros con el planeta, para finalmente entrar en su órbita el 18 de marzo de 2011. Lanzada desde Cabo Cañaveral el 3 de agosto de 2004, la nave realizó un pormenorizado estudio

de sus características empleando varios instrumentos científicos, entre ellos un sistema para la adquisición de imágenes tanto en color como en blanco y negro, un magnetómetro para medir el campo magnético (que descubrió que este no está alineado con el centro del planeta) y un espectrómetro para determinar la composición tanto de la superficie como de su casi inexistente atmósfera, gracias al cual se pudo determinar que Mercurio emite una *cola* de sodio al espacio exterior, cuyo tamaño e intensidad varían en función de la actividad solar. Asimismo, en su superficie se han hallado depósitos de hielo, hierro y azufre.

El 30 de abril de 2015, y tras describir 4 105 órbitas en torno a Mercurio, la MESSENGER finalizó su misión con un impacto deliberado sobre la superficie del planeta. A día de hoy, los científicos están aún procesando y analizando la ingente cantidad de datos que proporcionó la nave durante sus más de cuatro años de misión orbital.

VENUS: UN INFIERNO PLANETARIO

El planeta Venus se encontró una vez en la región habitable del sistema solar. Posee una atmósfera muy densa, rica en dióxido de carbono, que lo somete a un feroz efecto invernadero. En consecuencia, la temperatura durante el día alcanza unos 480 °C, más que suficiente para fundir el plomo, mientras que por la noche solo desciende unos grados. Al igual que Mercurio, Venus carece de satélites naturales.

Las primeras cuatro tentativas para explorar Venus finalizaron en estrepitoso fracaso. El éxito vino con la Mariner 2, lanzada por la NASA el 27 de agosto de 1962, la cual alcanzó una distancia mínima de 34 762 km el 14 de diciembre y determinó que la temperatura de Venus sobrepasaba los 420 °C. También fue capaz de detectar una densa capa de nubes que se extendía desde los 56 hasta los 80 km sobre su superficie.

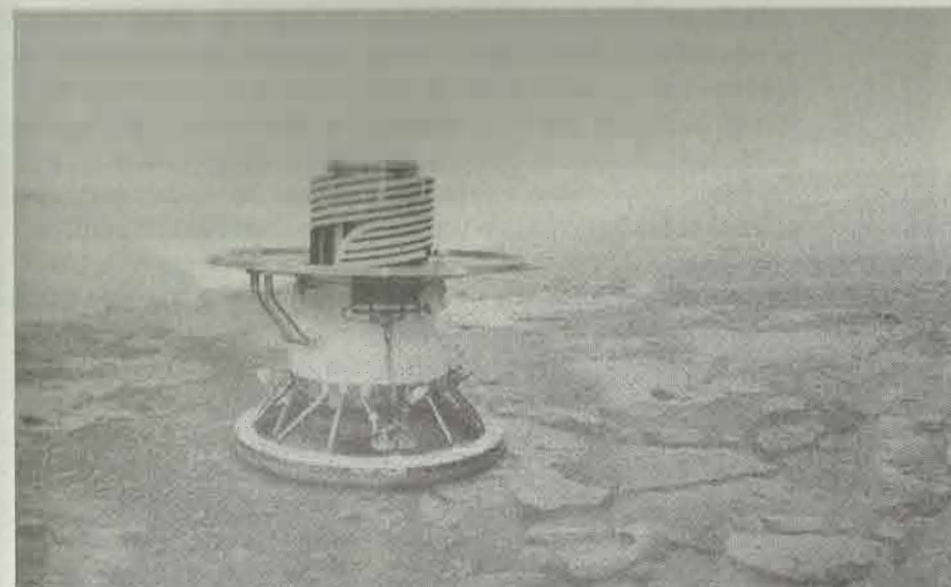
El 16 de noviembre de 1965 la URSS lanzó la Venera 3, integrada por un módulo principal y una pequeña cápsula de aterrizaje. El 16 de febrero de 1966, el centro de control perdió el contacto

con la nave, aunque esta pudo desplegar la cápsula con éxito, chocando contra Venus el 1 de marzo y convirtiéndose así en el primer objeto construido por el ser humano en alcanzar la superficie de otro planeta. La siguiente misión, Venera 4, logró su objetivo el 18 de octubre de 1967, desplegando un módulo de descenso que, durante 93 minutos, transmitió datos sobre la atmósfera del planeta. Los soviéticos pensaban que el módulo dejó de transmitir al alcanzar la superficie, pero lo cierto es que la excesiva presión atmosférica destruyó el ingenio cuando todavía se encontraba a 27 km de altitud.

La NASA continuó su exploración con la Mariner 5, que realizó su máxima aproximación al planeta el 19 de octubre de 1967. No portaba ninguna cámara, pero sí otros instrumentos científicos que le permitieron determinar que este carecía de campo magnético y que su presión atmosférica oscilaba entre las 75 y 100 atmósferas terrestres.

En 1969, la Unión Soviética realizó las primeras tentativas de aterrizaje suave en la superficie de Venus con dos naves gemelas, Venera 5 y 6. La primera liberó su módulo de aterrizaje el 16 de mayo, y aunque su diseño le permitía soportar presiones mayores que su predecesor, dejó de responder tras 53 minutos de transmisión de datos, a una altitud de entre 24 y 26 km sobre la superficie, debido a la excesiva presión atmosférica. Por su parte, la Venera 6 desplegó su módulo de aterrizaje el 17 de mayo, corriendo este el mismo destino que su gemelo.

La siguiente misión soviética, sin embargo, pasó a la historia por ser el primer ingenio en posarse suavemente en otro planeta y transmitir datos desde su superficie. La Venera 7 liberó su módulo de aterrizaje el 15 de diciembre de 1970. Los controladores de la misión, que pensaron que la nave cesó sus transmisiones después de posarse, comenzaron a recibir lo que creían era un ruido ininteligible. Tras ser procesado por ordenador, dicho ruido resultó ser, en realidad, una secuencia de datos científicos enviados por la sonda desde la superficie, con una duración superior a los 22 minutos. Tales datos indicaban que la temperatura y la presión atmosférica reinantes en el lugar alcanzaban 475 °C (± 20 °C) y 90 atmósferas (± 15), respectivamente.



Arriba, representación de la nave soviética Venera 9 en la superficie de Venus. A la izquierda, y de arriba abajo, fotos de la superficie de Venus tomadas por las sondas soviéticas Venera 9, Venera 10, Venera 13 y Venera 14.

El 22 de julio de 1972, el módulo de aterrizaje de la Venera 8 se internó en la atmósfera, logrando transmitir datos durante 50 minutos tras posarse, hasta que la presión atmosférica destruyó el ingenio. Durante el descenso, la nave captó un brusco cambio en la iluminación ambiental a una altitud de entre 30 y 35 km. Asimismo, sus cámaras determinaron que, en el momento del aterrizaje, la visibilidad en la superficie era de un kilómetro.

La Venera 9 fue la primera de una nueva generación de naves soviéticas para explorar Venus. Integrada por un módulo orbital y un módulo de aterrizaje, partió el 8 de junio de 1975. El 22 de octubre, el módulo de aterrizaje penetró en la atmósfera venusiana, posándose suavemente y captando una imagen panorámica de 180° desde el lugar, que se convirtió en la primera fotografía tomada desde la superficie de otro planeta. La imagen, captada en blanco y negro, mostraba un paisaje de rocas planas (de aspecto pavimentoso). Las sombras y pequeños segmentos del cielo que se contemplaban en ella mostraban un ambiente comparable al de un día nublado en la Tierra (véase la fotografía superior de las cuatro de la página anterior).

La NASA reanudó su exploración de Venus con las naves Pioneer Venus 1 y 2. El 4 de diciembre de 1978, la Pioneer Venus 1 entró en la órbita venusiana, y a lo largo de su misión determinó que el planeta era mucho más llano y esférico que la Tierra. Su punto más elevado, Maxwell Montes, alcanzaba los 11 km de altura sobre la superficie media del planeta. Por su parte, la Pioneer Venus 2 estaba formada por una sonda principal y tres sondas más pequeñas, las cuales iniciaron la entrada en la atmósfera el 9 de diciembre. La primera de ellas, dotada de paracaídas, transmitió datos hasta alcanzar la superficie, mientras que las tres sondas más pequeñas impactaron deliberadamente contra ella. Dos sobrevivieron a la colisión y transmitieron datos a la Tierra, una durante unos segundos y la otra durante 67,5 minutos.

Tras el éxito de la Venera 9, la URSS continuó enviando ingenios de la serie a la superficie y a la órbita de Venus. De entre ellos destaca la Venera 13, que el 1 de marzo de 1982 tomó las primeras fotografías en color desde la superficie del planeta, en las que se apreciaba un terreno marrón anaranjado con rocas

OBSERVANDO LA SUPERFICIE DE VENUS A TRAVÉS DE SUS NUBES

El 5 de mayo de 1989 la tripulación del transbordador espacial Atlantis de la NASA lanzó hacia Venus la sonda Magellan (Magallanes). Entre sus instrumentos científicos, la nave portaba un radar de apertura sintética que permitía, mediante ondas de radio, obtener imágenes de la orografía del planeta.

El retrato eterno del infierno

Gracias a las imágenes tomadas por la Magellan, los científicos hallaron evidencias de actividad volcánica, largos canales de lava y movimiento tectónico. En total, determinaron que hasta un 75 % de la superficie del planeta estaba cubierta de fluidos volcánicos. Del mismo modo, se detectó en ella la presencia de turbulentas corrientes de aire. A pesar de las elevadas temperaturas y de la alta presión atmosférica, la ausencia total de agua en la superficie hace que los procesos de erosión tengan lugar de forma muy lenta, por lo que los rasgos observados se mantendrán prácticamente inalterables durante los próximos cientos de millones de años. Magellan consiguió realizar un mapa de Venus que abarcó el 98 % de su superficie. El 13 de octubre de 1994, tras el envío de una serie de órdenes por parte de los técnicos de vuelo para que penetrara en la atmósfera del planeta, se ponía fin a una exitosa misión cartográfica de más de cuatro años de duración.



Reconstrucción de una zona de la superficie de Venus a partir de datos obtenidos por el radar de la Magellan.

angulares y escasas cantidades de tierra. El programa concluyó en 1983 con la Venera 16, una sonda destinada a adquirir datos desde la órbita del planeta.

La exploración soviética de Venus continuó con el programa Vega, que contó con la colaboración de varios países europeos y en el marco del cual se lanzaron dos naves gemelas que, además de explorar Venus, tenían como misión estudiar el cometa Halley. Cada ingenio portaba un módulo de descenso provisto de globos, que entraron en la atmósfera del planeta el 11 (Vega 1) y el 15 de junio (Vega 2) de 1985. La segunda de las naves pudo tomar muestras de tierra y analizarlas, determinando la existencia de anortosita-troctolita, una roca muy poco común en la Tierra, que se halla igualmente en las tierras altas de la Luna.

Venus recibió la visita de una nueva sonda el 11 de abril de 2006. Se trataba del Venus Express, un ingenio de la ESA que estudió el planeta desde su órbita hasta diciembre de 2014, obteniendo valiosos datos de sus diferentes capas atmosféricas. Algunos de esos datos, relacionados con las cantidades de hidrógeno y deuterio (este último es un isótopo del primero, es decir, es el mismo elemento pero con diferente número de neutrones en su núcleo), apuntan a que el planeta albergó importantes cantidades de agua en el pasado en forma de ríos, mares y lagos, la mayor parte de la cual habría escapado al espacio exterior a un ritmo muy rápido. Asimismo, la rotación del planeta parece haberse ralentizado, existiendo una diferencia de 6,5 minutos con respecto a las mediciones realizadas por la sonda Magellan de la NASA veinte años antes.

MARTE: ¿HABITABLE EN EL PASADO?

Su posición dentro del sistema solar convierte a Marte en un planeta potencialmente habitable, aunque por ahora se desconoce si en algún momento albergó formas de vida. Precisamente es esa la cualidad que lo ha convertido en el planeta más explorado hasta la fecha, y en un firme candidato a ser visitado por seres humanos. Cuenta, además, con dos asteroides capturados en su

órbita, llamados Fobos y Deimos (palabras griegas que significan Miedo y Terror, respectivamente).

La exploración de Marte ha sufrido muchos reveses. De 43 lanzamientos realizados al planeta o a su entorno, 25 han finalizado en fracaso. El primer éxito vino de la mano de Estados Unidos con la misión de la Mariner 4, que despegó el 28 de noviembre de 1964. La nave consiguió aproximarse al planeta el 15 de julio del año siguiente, tomando 21 imágenes gracias a las cuales se pudo observar con cierto detalle la orografía marciana, dominada por grandes extensiones desérticas repletas de cráteres.

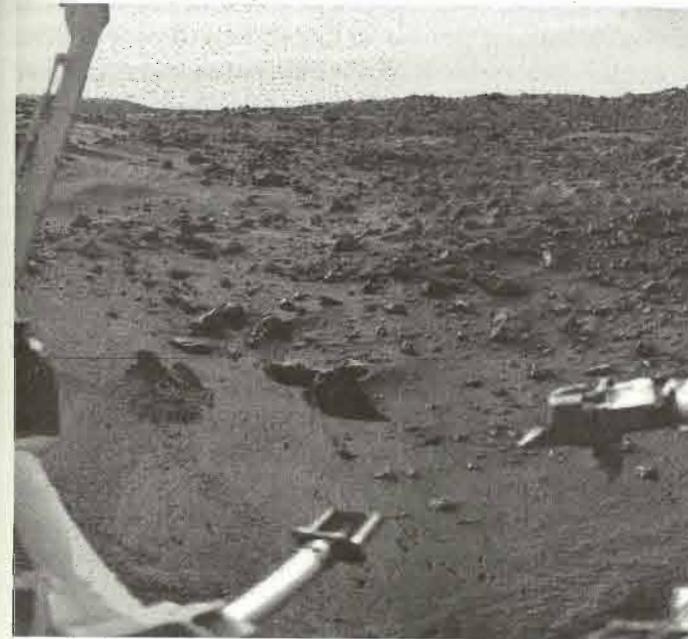
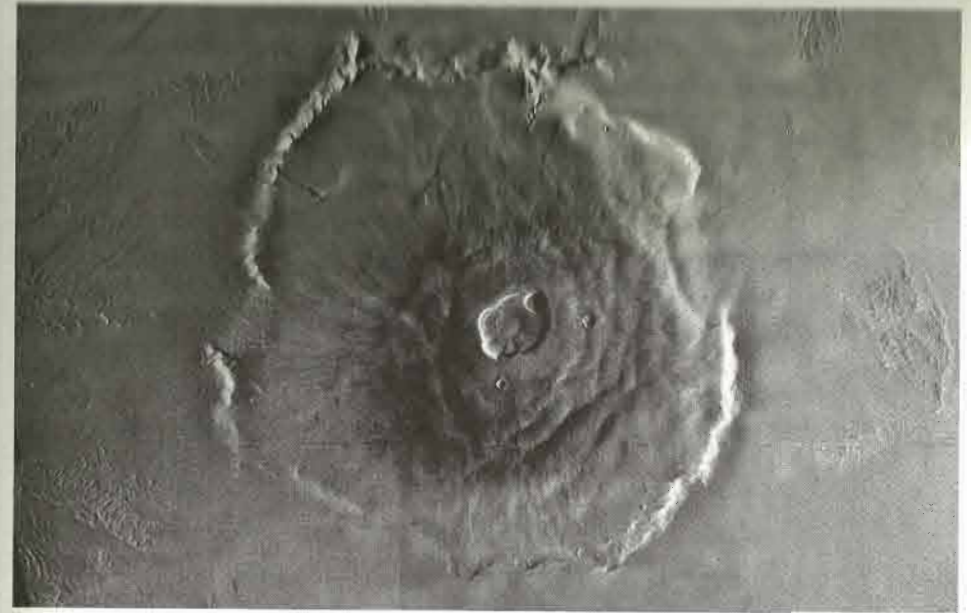
Las siguientes misiones con éxito fueron las de las Mariner 6 y 7, lanzadas por la NASA el 25 de febrero y el 27 de marzo de 1969, respectivamente. Dotadas de cámaras de televisión, las sondas tomaron instantáneas durante su aproximación al planeta, en las que se apreciaba que la distribución de cráteres en su superficie era irregular. Los instrumentos de la Mariner 6 detectaron que la presión en la superficie marciana era equivalente a la hallada a 30 km de altitud en la Tierra. Asimismo, las medidas de temperatura realizadas por la sonda indicaban que por la noche las cotas se situaban en torno a los -73°C , mientras que en la zona polar sur la temperatura descendía hasta los -125°C .

La URSS consiguió algunos éxitos en Marte a partir de 1971, con las sondas Mars 2 y 3, lanzadas el 19 y el 28 de mayo. Estas naves estaban integradas por un módulo orbital y un módulo de aterrizaje, ambos equipados con instrumentos para determinar las condiciones reinantes en el entorno marciano. El 27 de noviembre, el módulo de aterrizaje de la Mars 2 se internó en la atmósfera del planeta, convirtiéndose en el primer ingenio humano en aterrizar en Marte. Lamentablemente, un fallo durante el descenso hizo que se precipitara contra el suelo marciano; el impacto impidió que enviara datos a la Tierra. Por su parte, el módulo orbital desempeñó su misión hasta el año siguiente.

La Mars 3 llegó a Marte el 2 de diciembre. Su módulo de aterrizaje alcanzó con éxito la superficie y logró enviar a la Tierra una imagen parcial del lugar donde se había posado. La transmisión quedó truncada debido a los efectos ocasionados por una tormenta de polvo que azotaba Marte en aquellas fechas.

El 30 de mayo de 1971, la NASA lanzó una nueva misión del programa Mariner. Idéntica en su diseño a su predecesora, que se perdió durante el despegue, la Mariner 9 se convirtió el 14 de noviembre en el primer ingenio en entrar en órbita alrededor de otro planeta. La misma tormenta de polvo que provocó el fallo de la Mars 3 privó a la Mariner 9 de tomar imágenes con detalle de la orografía marciana durante los primeros meses. Pasada esta, la nave pudo enviar a la Tierra fotografías de mayor calidad, en las que se apreciaban profundas fosas y sistemas de arroyos secos, que inducían a pensar que el agua fluyó en algún momento en Marte. La Mariner 9 identificó cerca de una veintena de volcanes en el planeta, destacando uno de ellos, Olympus Mons (Monte Olimpo), cuya altitud casi triplica a la del Everest en la Tierra. La Mariner 9 logró cartografiar el 85% del planeta, enviando un total de 7329 fotografías.

Tras los fracasos soviéticos de las Mars 2 y 3 en lo que se refiere a operaciones de aterrizaje, el año 1976 marcó el inicio de la exploración de Marte desde su superficie. Las naves estadounidenses Viking (Vikíngo) 1 y 2, lanzadas el 20 de agosto y el 9 de septiembre de 1975, respectivamente, fueron los primeros aparatos que enviaron datos de gran calidad desde la superficie marciana. El primero de ellos alcanzó la órbita del planeta el 19 de junio de 1976, y tomó fotografías a partir de las cuales se pudo elegir el lugar apropiado para el descenso de su módulo de aterrizaje. El 20 de julio, este se separó del módulo orbital y se internó en la atmósfera del planeta, posándose suavemente en la región de Chryse Planitia (Planicie Dorada), desde donde comenzó a tomar imágenes del lugar de aterrizaje, mientras sus sensores captaban la temperatura ambiental (-86°C antes del amanecer y -33°C durante la tarde). El 28 de julio, el brazo robot del módulo recogió muestras del terreno para su análisis en un pequeño laboratorio biológico que portaba, dotado de un cromatógrafo de gases y un espectrómetro. Aunque algunos datos sugerían la presencia de vida, la prueba principal sobre compuestos orgánicos dio resultados negativos. El módulo de aterrizaje continuó en servicio hasta poco antes de darse por acabada la misión en 1983, mientras que el módulo orbital cesó su actividad tres años antes.



El volcán marciano Olympus Mons, captado por la nave Viking 1 desde su órbita. La imagen de la izquierda fue tomada por el módulo de aterrizaje de la misión Viking 1 en la región de Chryse Planitia.

Por su parte, la Viking 2 alcanzó la órbita de Marte el 7 de agosto de 1976, y el 3 de septiembre su módulo de aterrizaje se posó sobre la región de Utopia Planitia (Planicie de la Utopía). Las imágenes tomadas desde la superficie indicaban que el terreno era más plano y más abundante en rocas que el hallado por el Viking 1 en Chryse Planitia. Los experimentos químicos efectuados por el Viking 2, similares a los realizados por su predecesor, arrojaron los mismos resultados. El módulo de aterrizaje continuó enviando datos hasta 1980, mientras que el módulo orbital permaneció operativo hasta 1978.

Las siguientes dos misiones que gozaron de éxito fueron la Mars Global Surveyor y la Mars Pathfinder, ambas de la NASA. La primera estaba enmarcada en el programa Mars Surveyor con el que la agencia espacial pretendía enviar ingenios a Marte cada dos años. Estas dos misiones fueron lanzadas el 7 de noviembre y el 4 de diciembre de 1996, respectivamente. La primera de ellas fue llevada a cabo por un ingenio orbital destinado a tomar fotografías de alta resolución de la orografía marciana. De los datos enviados durante la misión se desprendía que el agua jugó en el pasado un papel muy importante en Marte, existiendo en cantidades elevadas, formando lagos, mares y ríos. Esos hallazgos se vieron corroborados por los de la Mars Pathfinder, un módulo de aterrizaje que se posó sobre la región de Ares Vallis (Valle de Ares) el 4 de julio de 1997. La nave estaba equipada con un pequeño vehículo todoterreno llamado Sojourner (en honor de Sojourner Truth, una activista estadounidense del siglo XIX que luchó a favor de la abolición de la esclavitud y por los derechos sociales de la mujer). Este robot exploró el entorno, realizando análisis químicos en 17 lugares diferentes próximos al lugar de aterrizaje y detectando la presencia de un tipo de roca llamada andesita. Asimismo, tomó un total de 550 fotografías en las que se apreciaba que las rocas habían sufrido procesos erosivos, presumiblemente por la acción del agua. Mientras el todoterreno realizaba su cometido, el módulo de aterrizaje efectuó mediciones atmosféricas y tomó un total de 16 500 fotografías. La misión finalizó el 27 de septiembre, al perderse el contacto con este último.

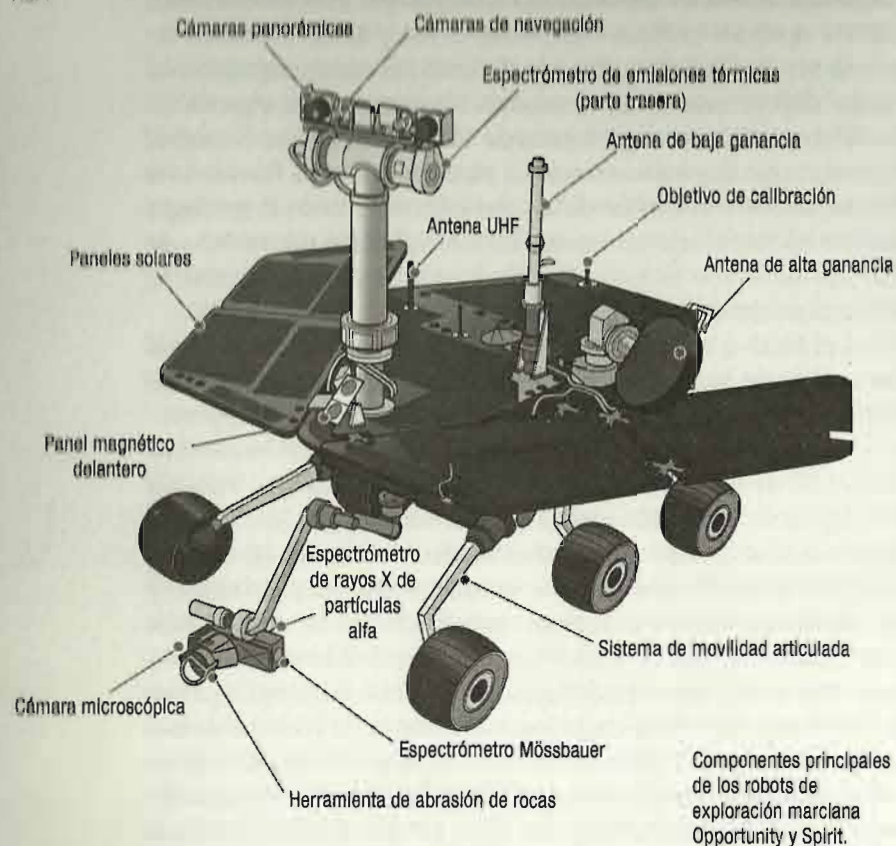
El 24 de octubre de 2001, un nuevo ingenio de la NASA entró en la órbita de Marte. Llamado Mars Odyssey (Odisea de Marte), sirvió de apoyo a la Mars Global Surveyor y tomó el relevo de esta una vez finalizó su misión, realizando tareas de seguimiento de la atmósfera marciana y rastreo de minerales de su superficie.

La ESA se unió a la exploración de Marte con el Mars Express, un aparato que llegó a la órbita del planeta el día de Navidad de 2003, destinado a recopilar datos científicos tanto de la geología como de la atmósfera marcianas. La nave portaba un módulo de aterrizaje británico llamado Beagle 2, que se perdió durante la maniobra de descenso al planeta.

Tras el éxito que supuso la utilización del rover Sojourner en la superficie de Marte, la NASA optó por enviar nuevos ingenios rodantes al Planeta Rojo. Llamados Spirit (Espíritu) y Opportunity (Oportunidad), estos exploradores alcanzaron la superficie el 4 y el 25 de enero de 2004, aterrizando en el cráter Gusev y en la región de Meridiani Planum, respectivamente. Mucho más grandes que su predecesor, estos vehículos fueron equipados con cámaras estereoscópicas e instrumentos para analizar y perforar rocas, gracias a un brazo robot multifunción (figura 1). Recorriendo decenas de kilómetros, los exploradores robóticos determinaron la presencia de hematita, un mineral para cuya formación es imprescindible la presencia de agua en cantidades importantes. Aunque el Spirit cesó sus comunicaciones en marzo de 2010 al quedar varado y sin posibilidad de alinearse correctamente con el Sol para obtener energía, el Opportunity continúa rodando (2016) por las planicies marcianas, explorando cráteres y realizando estudios geológicos del entorno, habiendo cubierto una distancia superior a los 40 km.

Mientras los vehículos exploradores desarrollaban su misión en la superficie, dos nuevos ingenios llegaron a Marte, llamados Mars Reconnaissance Orbiter (Orbitador de Reconocimiento de Marte) y Phoenix (Fénix). El primero de ellos llegó al Planeta Rojo el 10 de marzo de 2006 y tenía como misión principal la toma de fotografías de alta resolución de la superficie, mientras que el objetivo del segundo, que alcanzó su destino el 25 de mayo de 2008, era aterrizar en una región próxima al polo norte para

FIG. 1

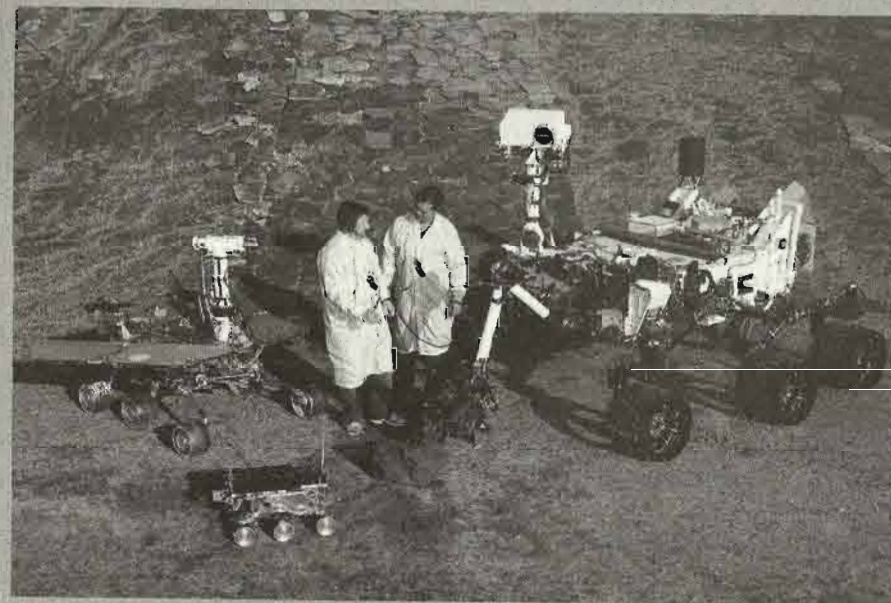


estudiar la meteorología y geología del lugar. Phoenix era una sonda estática dotada de un brazo robot con el que realizó pequeñas excavaciones en el terreno, descubriendo agua congelada a muy pocos centímetros por debajo de la superficie.

La NASA continuó explorando la superficie marciana con un robot de nueva generación, llamado Mars Science Laboratory (Laboratorio Científico de Marte), rebautizado con el nombre de Curiosity (Curiosidad). Aterrizó el 6 de agosto de 2012 en el cráter Gale, un lugar cuyas condiciones podrían haber permi-

LOS DESCUBRIMIENTOS DEL ROVER CURIOSITY

Desde que llegara a Marte en agosto de 2012, el laboratorio científico del robot Curiosity ha realizado importantes descubrimientos sobre el Planeta Rojo y su superficie. El hallazgo de carbono, hidrógeno, fósforo y azufre, elementos necesarios para que florezca la vida, apuntan a que, en un pasado remoto, Marte pudo haber reunido las condiciones necesarias para albergar formas de vida microscópica. Por otra parte, las mediciones realizadas por el vehículo han detectado la presencia de niveles crecientes de metano en la atmósfera, cuyo origen bien puede ser volcánico, lo que apuntaría a que el planeta está geológicamente activo, o deberse a la acción de formas de vida, lo que indicaría que Marte no está muerto. Asimismo, el Curiosity ha demostrado que la atmósfera actual del planeta se encuentra enriquecida con formas pesadas (isótopos) de hidrógeno, carbono y argón, lo que denota que Marte ha perdido gran parte de su atmósfera primigenia y, con ella, importantes cantidades de agua, que huyeron al espacio. Además, las rocas observadas por el Curiosity se encuentran erosionadas y muestran patrones que indican que rodaron en corrientes de agua con caudales de, al menos, medio metro de profundidad. Durante su viaje espacial hacia Marte, el Curiosity también detectó niveles muy altos de radiación, que serían muy perjudiciales para aquellos astronautas que exploren el Planeta Rojo en el futuro.



Dos ingenieros posan junto a varios vehículos robóticos que proporcionan una comparativa de tamaños entre tres generaciones de ellos: Sojourner (parte inferior izquierda), MER (Spirit y Opportunity, parte central izquierda) y Curiosity (derecha).

tido la existencia de formas de vida microscópicas en el pasado. A diferencia de sus predecesores Spirit y Opportunity, el Curiosity obtiene su energía a partir de un pequeño generador de radioisótopos, cuya vida útil se había calculado en dos años terrestres, aunque ha sobrepasado con creces ese plazo.

Otra de las misiones de la NASA que actualmente desempeña su cometido en la órbita marciana es la MAVEN (acrónimo, en inglés, de Misión sobre la Atmósfera de Marte y Evolución de Materiales Volátiles), cuya nave llegó al planeta el 22 de septiembre de 2014 con el propósito de desentrañar la influencia del Sol en la evolución de la atmósfera marciana.

Mientras tanto, la ESA dio un nuevo paso en sus esfuerzos por explorar Marte con el lanzamiento de la ExoMars, una misión en colaboración con la Agencia Espacial Rusa, Roscosmos. Integrada por un módulo orbital llamado TGO (siglas, en inglés, de Orbitador de Gases Traza) y por un demostrador de entrada, descenso y aterrizaje bautizado con el nombre de Schiaparelli (en honor del astrónomo italiano Giovanni Schiaparelli que cartografió la superficie marciana en el siglo XIX), la nave partió del cosmodromo de Baikonur el 14 de marzo de 2016, con el propósito de buscar potenciales pruebas de actividad biológica marciana y evaluar tecnologías para el futuro aterrizaje de naves en el planeta. El TGO entró en órbita el 19 de octubre de 2016, tras liberar su módulo de aterrizaje, el cual debía posarse en la región de Meridiani Planum. Los responsables de la misión, tras analizar los datos del descenso, determinaron que el módulo se estrelló contra la superficie marciana.

COMETAS Y ASTEROIDES: LA HERENCIA DEL SISTEMA SOLAR

Los cometas y los asteroides son residuos de la formación del sistema solar. Conservan prácticamente inalterados los elementos que dieron origen al Sol y a los planetas, lo que los convierte en auténticas cápsulas del tiempo.

Los cometas están compuestos principalmente de hielo y polvo, aunque pueden poseer un núcleo rocoso. Estos pueblan

una región del sistema solar llamada Cinturón de Kuiper (situada más allá de Neptuno) y otra mucho más lejos aún, la Nube de Oort (ubicada, según algunas estimaciones, a unos 2 años-luz de distancia del Sol). Los asteroides, por el contrario, están compuestos mayoritariamente de roca, aunque pueden contener ciertas cantidades de hielo y metales. Se concentran, principalmente, en una región situada entre las órbitas de Marte y Júpiter, denominada Cinturón Principal de Asteroides.

Cometas y asteroides describen órbitas estables, aunque pueden sufrir alteraciones debido al campo gravitatorio de los planetas o de estrellas cercanas a nuestro sistema planetario. Este último fenómeno afecta a los cometas situados en la Nube de Oort.

La exploración cometaria se inició en los años ochenta, con misiones como el ICE (siglas, en inglés, de Explorador Cometa Internacional). La nave, que originalmente se denominaba Explorador Internacional Sol-Tierra 3 (o ISEE 3, por sus siglas en inglés), formaba parte de un proyecto entre la NASA y la ESA. Despegó el 12 de agosto de 1978 y el 11 de septiembre de 1985 se convirtió en el primer ingenio en aproximarse a un cometa. La nave transmitió a la Tierra datos muy valiosos sobre la cola del 21P/Giacobini-Zinner, los cuales contribuyeron a confirmar la teoría que sostenía que los cometas eran grandes «bolas de nieve sucia». Unos meses después, la nave Giotto de la ESA marcó un nuevo hito en la historia de la exploración espacial. El 14 de marzo de 1986 se situó a 605 km del núcleo del cometa más popular de la historia, el 1P/Halley. Durante la aproximación, la nave sufrió el impacto de miles de partículas emitidas por el cometa. Afortunadamente, el escudo protector del que estaba dotada protegió a la sonda de la mayor parte de los impactos, lo que permitió que su misión continuara con la exploración de un segundo cometa en 1992, el 26P/Grigg-Skjellerup.

La exploración cometaria, lejos de cesar, se ha intensificado con el transcurso del tiempo. En los últimos veinte años se han puesto en marcha ambiciosas misiones para explorar estos enigmáticos cuerpos, destacando la Deep Impact (Impacto Profundo), lanzada por la NASA el 12 de enero de 2005 con el propósito de explorar el cometa 9P/Tempel y lanzar sobre él un pequeño

LA RED DE ESPACIO PROFUNDO

Las comunicaciones entre una nave espacial, tripulada o no, y la Tierra son esenciales. En el caso de las sondas espaciales, ello resulta más difícil por su lejanía. La Red de Espacio Profundo de la NASA es vital para las comunicaciones en misiones interplanetarias, y para intentos de restablecer el contacto perdido con vehículos de exploración, como los que se realizaron infructuosamente durante más de un año para tratar de obtener respuesta del robot Spirit desde Marte.

Desde el principio

La historia de este componente tan esencial de la astronáutica se remonta a la época de los primeros vuelos a la Luna. Fue entonces cuando comenzó a hacerse necesaria la implementación de un sistema que garantizase una cobertura continua de las comunicaciones entre los centros de control y las naves en el espacio. La rotación de nuestro planeta planteaba un serio problema dado que, con frecuencia, las naves espaciales se situaban bajo el horizonte terrestre con relación a la estación de control y las comunicaciones quedaban apantalladas por la propia Tierra. Para solucionar este problema, soviéticos y estadounidenses diseñaron sendas redes de comunicaciones, integradas cada una por tres estaciones principales (y varias estaciones secundarias) en diferentes puntos del globo, siendo la separación óptima entre ellas de 120°. Así, cualquier estación que quedase apantallada por la rotación de la Tierra podría delegar su función en las otras dos, garantizando una cobertura ininterrumpida de las comunicaciones. A los conjuntos de estas estaciones se les conoce como redes de espacio profundo.

Complejos soviéticos, estadounidenses y europeos

La Unión Soviética estableció su red DSN en 1959 para sus misiones con destino a Venus y Marte, empleando para ello antenas parabólicas de 64 y 70 m de diámetro. Situada en Eupatoria, Ussurisk y Kalazin, no mantendrían entre ellas la separación óptima de 120°, no pudiendo, por tanto, mantener una cobertura continua de sus comunicaciones con los ingenios situados más allá de la órbita terrestre. Las estaciones DSN de Estados Unidos sí mantenían esta separación óptima. Fueron ubicadas en Goldstone (Estados Unidos), Robledo de Chavela (España) y Canberra (Australia), y cada una cuenta con varias antenas, que oscilan entre 34 y 70 m de diámetro. Entre 2002 y 2012, la Agencia Espacial Europea (ESA) también estableció una red similar para sus misiones al espacio profundo, integrada por las estaciones DSA 1 (Nueva Norcia, Australia), DSA 2 (Cebreros, España) y DSA 3 (Malargüe, Argentina). Cada una de ellas está equipada con una antena parabólica de 35 m de diámetro.

Complejos asiáticos

Otros países como India y China, que recientemente se han embarcado en la exploración planetaria, cuentan asimismo con estaciones DSN. India dispone de una sola estación, situada en Bhatnagar, a unos 40 km de Bangalore y dotada de tres antenas, de 11, 18 y 32 m de diámetro, pero cuenta con el apoyo de las estaciones DSN de la ESA para compensar sus actuales

deficiencias de cobertura. Por su parte, China cuenta con estaciones en Kasgar y Qingdao (provincia de Shandong), Miyun (cerca de Pekín), en la provincia de Yunnan y en Jiamusi, equipadas con antenas de entre 18 y 64 m. En 2017 pondrá en marcha una estación en Neuquén (Argentina), lo que ha despertado preocupaciones en el gobierno de aquel país, ante la posibilidad de que las instalaciones sean utilizadas con propósitos militares.

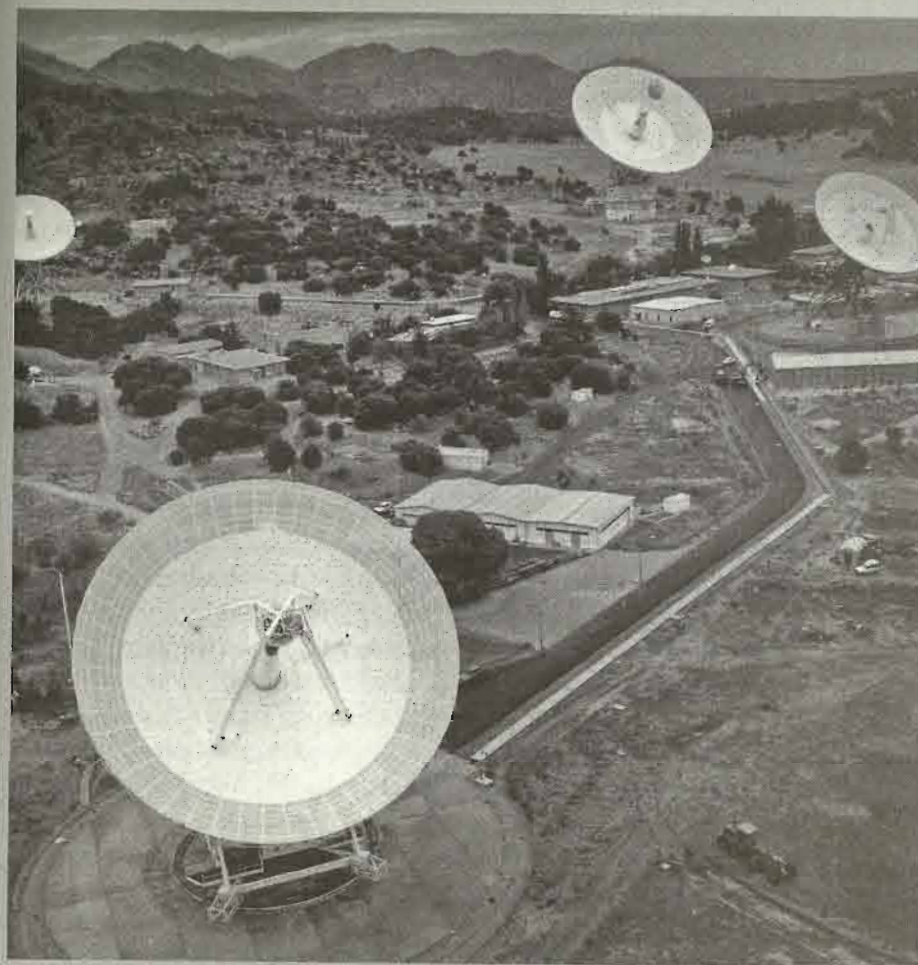


Imagen tomada en 1987 de la estación DSN de Robledo de Chavela (Madrid, España).

proyector para determinar su estructura interna. Otra misión de la NASA, llamada Stardust (Polvo Estelar), logró capturar partículas emitidas por el cometa 81P/Wild durante su máximo acercamiento el 2 de enero de 2004, transportándolas a la Tierra para su estudio dos años después.

De entre todas las misiones lanzadas hasta la fecha, destaca una por haber realizado una proeza sin precedentes en la historia: aterrizar sobre la superficie de un cometa. Lanzada por la ESA el 2 de marzo de 2004, la Rosetta (bautizada en honor de la famosa piedra que ayudó a decodificar los jeroglíficos egipcios) emprendió un viaje de diez años de duración hacia el cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko, entrando en su órbita el 6 de agosto de 2014. El 12 de noviembre, mientras realizaba sus observaciones, la Rosetta desplegó un módulo de aterrizaje de reducidas dimensiones llamado Philae, cuyo cometido era entrar en contacto con la superficie, liberar dos arpones para fijarse firmemente sobre ella y tomar datos desde el lugar de aterrizaje. Aunque la operación se realizó con cierto éxito, el módulo rebotó varias veces hasta posarse definitivamente en una ubicación desde la cual no recibía la cantidad de luz necesaria para que sus paneles solares produjeran la suficiente energía para alimentar sus instrumentos. En consecuencia, el Philae agotó sus reservas de electricidad en poco tiempo, aunque, afortunadamente, pudo transmitir imágenes y datos de gran calidad. Por su parte, la Rosetta continuó con su misión orbital hasta el 30 de septiembre de 2016, momento en el que los controladores de vuelo la hicieron posar asimismo sobre la superficie del cometa.

En líneas generales, los datos obtenidos a partir de estas misiones han permitido conocer que los cometas son, efectivamente, «bolas de nieve sucia», aunque sus respectivas densidades varían notablemente. Esas diferencias también se encuentran en sus campos magnéticos, los cuales, en algunos casos, están ausentes.

Aunque previamente hubo misiones que realizaron aproximaciones a asteroides, la primera diseñada específicamente para estudiar estos cuerpos fue la NEAR (acrónimo en inglés de Encuentro con un Asteroide Cercano a la Tierra), posteriormente conocida como NEAR-Shoemaker en honor de Eugene Shoe-

maker, el primer geólogo espacial que alertó del riesgo de impacto de asteroides al que la Tierra se encuentra expuesta. La NEAR-Shoemaker despegó desde Cabo Cañaveral el 17 de febrero de 1996 con el propósito de determinar las propiedades físicas y geológicas del asteroide 433 Eros y así esclarecer la relación que existe entre los asteroides, cometas y meteoritos. Del mismo modo, la misión pretendía profundizar en la comprensión de los procesos que dieron origen a los planetas. La NEAR-Shoemaker entró en la órbita de 433 Eros el 14 de febrero de 2000, iniciando una misión de un año de duración que culminó el 12 de febrero del año siguiente con su *aterrizaje* suave en la superficie del asteroide, a pesar de no estar diseñada para ello. La sonda continuó enviando datos desde dicha superficie hasta el 28 de febrero.

El 9 de mayo de 2003 partía desde el centro espacial de Kagoshima (conocido actualmente como Uchinoura) en Japón la nave MUSES-C, rebautizada con el nombre de Hayabusa (Halcón). Se trataba de un proyecto de la predecesora de la actual Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (JAXA) con el que se pretendía capturar muestras del asteroide 25143 Itokawa y llevarlas a la Tierra para su estudio. Aunque la misión sufrió numerosos problemas técnicos, el 19 de noviembre de 2005 la nave se aproximó a la superficie del asteroide y desplegó un recolector de muestras con el cual intentó recoger materiales. Un fallo registrado durante la operación impidió realizar la maniobra correctamente, aunque con posterioridad se recogió una mínima cantidad de la superficie. Con varios sistemas averiados, la nave emprendió el regreso a la Tierra, y el 13 de junio de 2010 liberó la cápsula que contenía las muestras, la cual reingresó en la atmósfera y pudo ser recuperada con éxito. Los análisis practicados apuntan a que el asteroide 25143 Itokawa contiene importantes cantidades de carbono y no es rico en metales. Del mismo modo se han hallado ciertos niveles de agua y gases nobles. Estos datos ayudarán a conocer mejor cómo se originaron los planetas y la influencia que la radiación solar ha tenido sobre ellos.

Su sucesora, Hayabusa 2, partió del centro espacial de Tanegashima el 3 de diciembre de 2014 rumbo al asteroide 162173 Ryugu, teniendo previsto entrar en su órbita en junio de 2018. La

nave porta un pequeño módulo de aterrizaje llamado MASCOT (acrónimo en inglés de Explorador Móvil de la Superficie del Asteroide), de manufactura germano-francesa, dotado de un espectrómetro, un magnetómetro, un radiómetro y una cámara. Una vez liberado, el MASCOT será capaz de reubicarse en diferentes lugares de la superficie para realizar mediciones y tomar fotografías. Hayabusa 2 porta también un proyectil de cobre para provocar un cráter artificial en el asteroide. Asimismo, capturará muestras para transportarlas a la Tierra, teniendo previsto su regreso en diciembre de 2020.

Una operación similar a las emprendidas por las naves Hayabusa es el objetivo de la misión OSIRIS-REx (siglas, en inglés, de Explorador de Orígenes, Interpretación Espectral, Identificación de Recursos, Regolito y Seguridad), cuya nave fue lanzada por la NASA el 8 de septiembre de 2016 para estudiar el asteroide 101955 Bennu, al que llegará en agosto de 2018. Será entonces cuando comience una misión de dos años de exploración, que vivirá su momento más importante en julio de 2020 con la recogida de muestras de la superficie del asteroide, y su posterior retorno a la Tierra, previsto para el 24 de septiembre de 2023.

LOS GIGANTES GASEOSOS

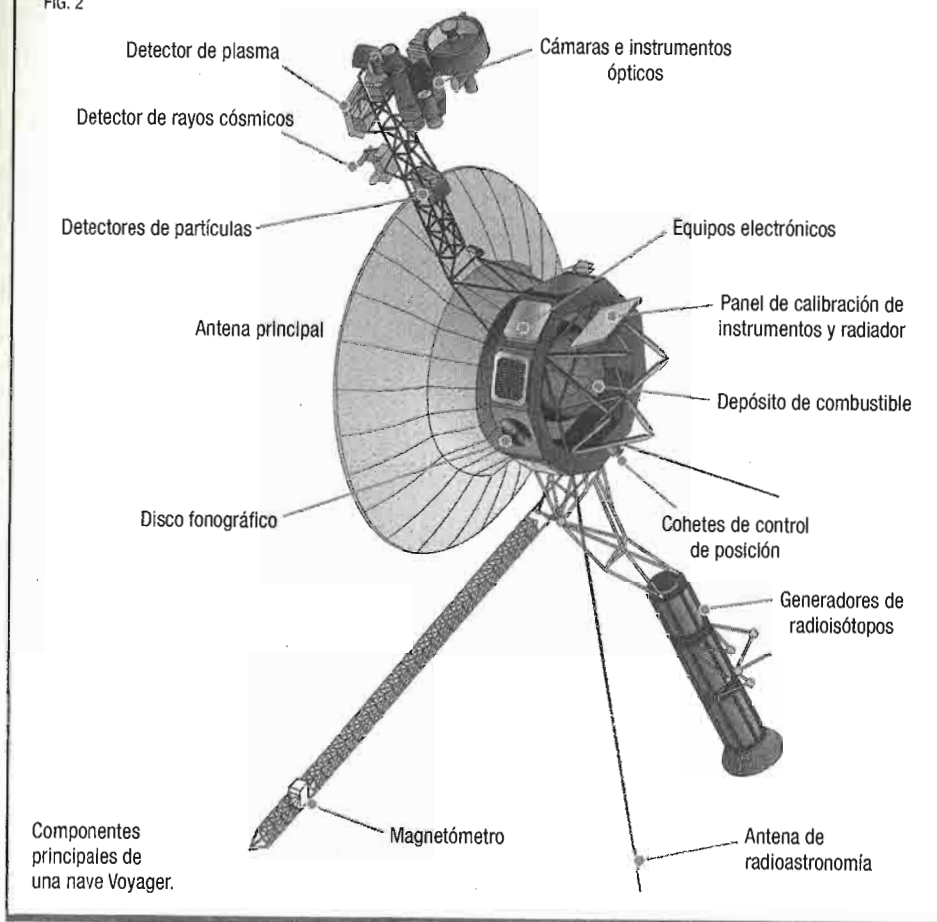
Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno integran el grupo de planetas conocidos como *gigantes gaseosos*, dado que están compuestos principalmente de gas (hidrógeno, helio, metano y otros en menor proporción) y sus dimensiones exceden con diferencia el tamaño del resto de planetas del sistema solar.

La exploración de estos planetas se inició en la década de 1970 con las sondas Pioneer (Pionero) 10 y 11 de la NASA, lanzadas el 3 de marzo de 1972 y el 6 de abril de 1973, respectivamente. Fueron misiones que intentaban, entre otras cosas, determinar la viabilidad de enviar naves a través del Cinturón Principal de Asteroides, dado que entonces se desconocía el número de cuerpos que lo poblaban y los científicos pensaban que el riesgo de colisión con alguno de ellos podría ser alto. Aunque la Pioneer 10

se limitó a explorar Júpiter, la Pioneer 11 lo hizo también con Saturno. Ambas enviaron fotografías en las que se podían apreciar algunas características de las atmósferas de estos planetas.

Las primeras misiones que estudiaron el conjunto de gigantes gaseosos del sistema solar fueron las Voyager (Viajero) 1 y 2, lanzadas por la NASA el 5 de septiembre y el 20 de agosto de 1977, respectivamente. Equipadas con cámaras, espectrómetros, magnetómetros y otros instrumentos científicos (figura 2), y alimen-

FIG. 2



tadas por generadores termoeléctricos de radioisótopos al igual que sus predecesoras Pioneer, las Voyager fueron las primeras naves en enviar fotografías de alta resolución de estos planetas. Una sucesión de imágenes de la Gran Mancha Roja de Júpiter (una inmensa tormenta con un tamaño similar a tres planetas como la Tierra, con vientos superiores a los 500 km/h) permitió componer una secuencia en la que se apreciaba la dinámica de las nubes de las capas altas de la atmósfera joviana.

Mientras que la Voyager 1 abandonó el plano de la eclíptica (definido por la órbita de la Tierra alrededor del Sol) tras su encuentro con Saturno, la Voyager 2 continuó su expedición por el sistema solar explorando Urano y Neptuno, tras lo cual dejó igualmente dicho plano.

Las observaciones realizadas por las Voyager han permitido conocer algunas características de los planetas gaseosos desconocidas hasta entonces, como la presencia de anillos en todos ellos, y el elevado número de lunas que poseen, encabezados por Júpiter, con un total de 67 descubiertas hasta la fecha. Además, la Voyager 2 pudo fotografiar con detalle la Gran Mancha Negra de Neptuno, una tormenta similar a la Gran Mancha Roja de Júpiter, con vientos que giran a velocidades superiores a los 1200 km/h.

El Voyager 1 se ha convertido en el ingenio construido por el ser humano más distante de la Tierra. Se encuentra desde 2012 en el espacio interestelar. Su gemelo se halla en una región en la que aún ejerce influencia el Sol, llamada heliosfera.

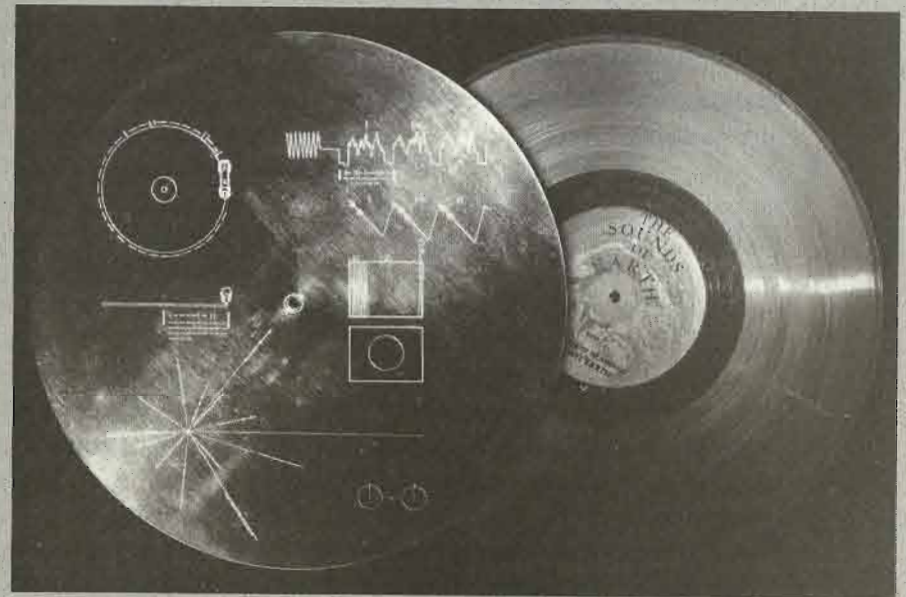
Júpiter recibió la visita de dos nuevas naves. La primera de ellas, llamada Galileo, alcanzó el planeta el 8 de diciembre de 1995, aunque previamente liberó un módulo de descenso que penetró en Júpiter un día antes, detectando un cinturón de radiación muy intensa a unos 50000 km por encima de las nubes del planeta, y la presencia de compuestos orgánicos en estas. La Galileo realizó observaciones detalladas de Júpiter y sus satélites hasta septiembre de 2003. La segunda de las naves mencionadas, bautizada con el nombre de Juno, entró en su órbita el 5 de julio de 2016 y su misión es realizar observaciones y sondeos de las capas atmosféricas del planeta, al objeto de conocer los procesos que dieron como resultado su formación.

LOS MENSAJES DE LAS VOYAGER

Cada una de las sondas Voyager porta un disco de cobre bañado en oro, de 30,5 cm de diámetro, conteniendo una compilación de sonidos e imágenes que muestran la diversidad de formas de vida y de culturas de la Tierra. Los contenidos del disco fueron seleccionados por un comité de la NASA liderado por Carl Sagan. En total se escogieron 116 imágenes y una gran variedad de sonidos naturales, entre ellos el viento, olas rompiendo en una playa, tormentas, sonidos emitidos por ballenas, monos y otros animales. También se incluyeron sonidos artificiales, como los emitidos por una locomotora de vapor, un transatlántico o el despegue de un cohete. Asimismo, el disco contiene saludos en 55 idiomas, una selección de piezas musicales de diversas épocas y culturas, y mensajes de Jimmy Carter y Kurt Waldheim, entonces presidente de Estados Unidos y secretario general de la ONU, respectivamente.

Instrucciones para su reproducción

Cada disco está protegido por una cubierta de aluminio, junto a un cartucho y una aguja. Esta cubierta cuenta con dibujos y diagramas grabados, que proporcionan instrucciones acerca de cómo reproducir el disco. Las 116 imágenes están codificadas analógicamente, mientras que el resto de contenidos, en audio, están grabados para una reproducción a 16-2/3 revoluciones por minuto. El mensaje solo será escuchado si existen civilizaciones avanzadas en el espacio interestelar, y si estas se encuentran en el camino de las Voyager.



Cubierta y disco con información y sonidos de la Tierra.

La misión Cassini-Huygens es un proyecto de la NASA y la ESA cuya nave llegó a Saturno en julio de 2004 para explorar el planeta y sus satélites. A diferencia de las Voyager, la nave no realizó un paso cercano, sino que entró en su órbita, pudiendo así realizar un estudio a largo plazo sobre él, sus anillos y algunas de sus lunas, como Titán y Encélado. La nave estaba integrada por un módulo orbital (Cassini) y un módulo de aterrizaje (Huygens). Este último debía posarse en la superficie de Titán.

Un planeta más activo de lo esperado

La Cassini pudo tomar fotografías de alta resolución de los anillos de Saturno y determinó que uno de ellos, llamado anillo A, absorbía las partículas de hielo emitidas por la luna Encélado, sobre la cual se han podido detectar varios géiseres que expulsan importantes cantidades de material helado al espacio. Sus observaciones han permitido asimismo conocer que Saturno posee una atmósfera muy activa, en la que predominan las tormentas, como la generada en su polo norte, la cual ha adoptado la forma de un hexágono.

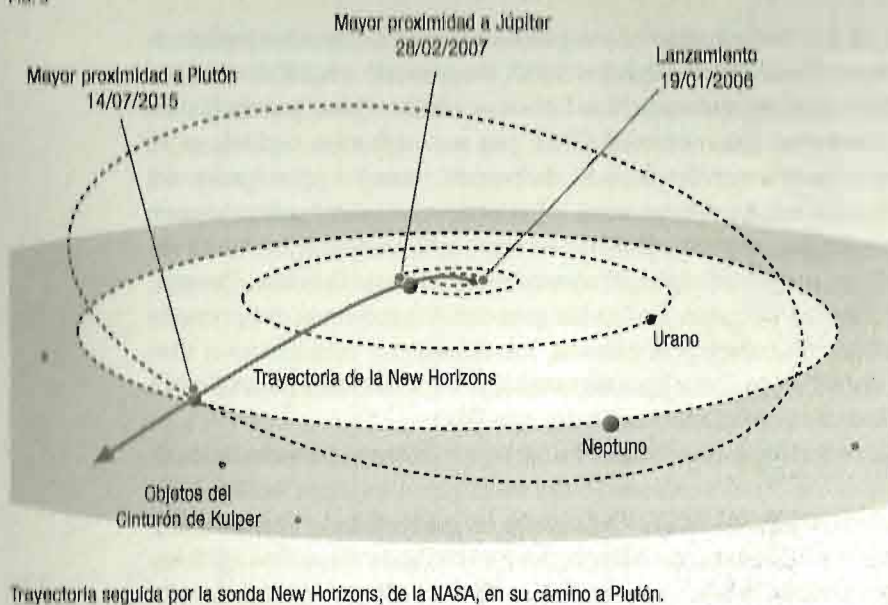
El enigmático Titán

La Cassini está equipada con un radar que permite atravesar la espesa niebla que rodea Titán. Gracias a él se ha podido determinar que esta luna es rica en metano y que, como el agua terrestre, experimenta un ciclo que comprende la evaporación, la condensación y la precipitación. Los científicos creen que Titán reúne condiciones similares a las que tuvo la Tierra poco antes de que surgieran las primeras formas de vida. Estas observaciones se vieron complementadas con las imágenes que el módulo Huygens tomó durante su descenso a Titán el 14 de enero de 2005, las cuales muestran un paisaje brumoso en el que predominan las montañas, los lagos y los terrenos con abundantes rocas.

Plutón fue descubierto como planeta por el astrónomo estadounidense Clyde Tombaugh en 1930. Degradado en 2006 a planeta enano de acuerdo con los cánones establecidos por la Unión Astronómica Internacional (IAU, por sus siglas en inglés), es el cuerpo menos explorado a día de hoy de entre los principales del sistema solar, aunque gracias a las observaciones realizadas por el telescopio espacial Hubble se supo que posee un sistema de satélites constituido por, al menos, cinco lunas: Caronte, Estigia, Nix, Hidra y Cerbero. Dadas las grandes dimensiones del primero de ellos con relación al planeta, los científicos consideran a Plutón como un planeta binario, cuyo eje de rotación se sitúa en el *baricentro* (centro de masas del sistema).

La única nave en visitar Plutón hasta la fecha ha sido la estadounidense New Horizons (Nuevos Horizontes), que fue lanzada el 19 de enero de 2006. Utilizando la gravedad de Júpiter para ganar velocidad, la New Horizons invirtió más de nueve años en llegar al sistema plutoniano (figura 3). Su máxima aproximación al planeta tuvo lugar el 14 de julio de 2015. La nave porta un completo equipo científico a bordo integrado por siete instrumentos, de entre los cuales destaca una cámara telescópica llamada LORRI (siglas, en inglés, de Captador de Imágenes de Reconocimiento de Larga Distancia), gracias a la cual se ha podido conocer con detalle el aspecto que ofrece la orografía del planeta, así como las características de su luna principal, Caronte.

Los datos enviados a la Tierra por la New Horizons apuntan a que Plutón posee cadenas montañosas y terrenos cubiertos de nitrógeno congelado, y lo que parecen ser criovolcanes que emiten al exterior materiales fríos como hielo, nitrógeno, amoníaco o metano. Teniendo en cuenta el número de cráteres de impacto, la superficie del planeta está dividida en terrenos antiguos, medios y jóvenes, por lo que Plutón puede ser geológicamente activo o haberlo sido en un pasado reciente. Por otra parte, en su atmósfera predomina el metano, por lo que sus cielos, observados desde la superficie, emiten una tonalidad azulada similar a la que observamos en los cielos terrestres.

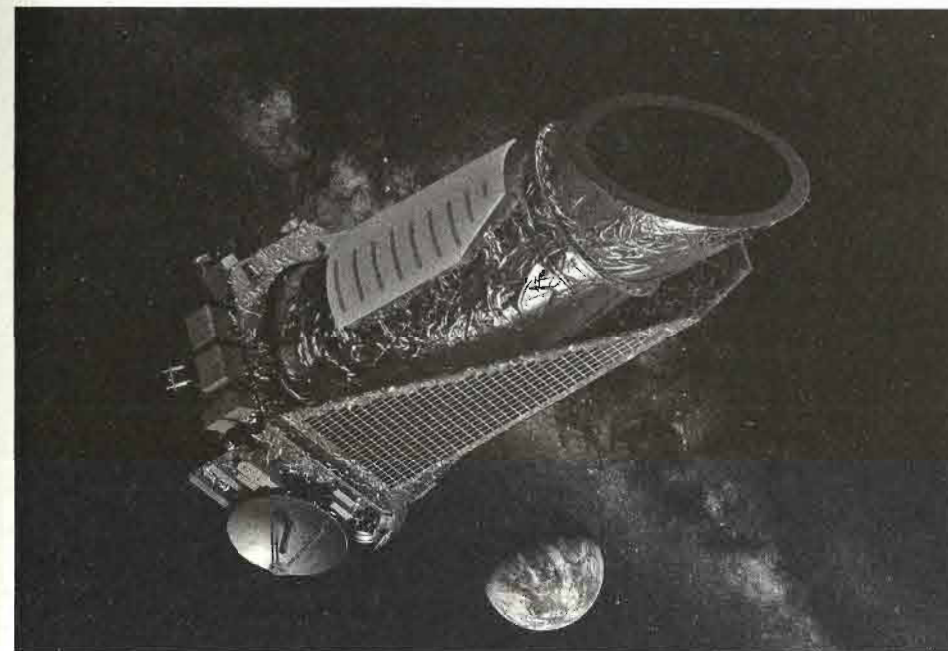


Trayectoria seguida por la sonda New Horizons, de la NASA, en su camino a Plutón.

Tras su paso por Plutón en 2015, la nave New Horizons ha comenzado a explorar el Cinturón de Kuiper, donde ya ha tenido oportunidad de observar de lejos (380 millones de kilómetros) un cuerpo helado de 145 km de diámetro, denominado 1994-JR1.

UNA MIRADA A LA PROFUNDIDAD DEL COSMOS

La exploración del espacio ha traspasado los límites del sistema solar con el lanzamiento de observatorios orbitales dotados de sofisticadas lentes y espejos, capaces de ampliar nuestra visión del cosmos hasta extremos considerados increíbles hace unas pocas décadas. Ejemplos de estos observatorios son los telescopios espaciales Hubble y Kepler (véanse las imágenes de la página contigua).



Arriba, despliegue del telescopio espacial Hubble durante la misión STS-31 del transbordador Discovery. Abajo, recreación artística del telescopio Kepler en el espacio.

El Hubble fue puesto en órbita el 24 de abril de 1990 por el transbordador Discovery. Se trata de un observatorio de la NASA y la ESA, y aunque sufrió algunos problemas durante sus primeros tres años de operaciones, con la actualización de sus componentes se ha convertido en uno de los instrumentos científicos más importantes de la historia. Ha observado algunos planetas como Marte y los gigantes gaseosos, pero su función principal es escudriñar las profundidades del espacio. En este sentido, ha permitido encontrar discos protoplanetarios en nebulosas como M42 en la constelación de Orión, los cuales darán lugar a nuevos planetas. Además, en julio de 1994 fue testigo de la colisión del cometa P/Shoemaker-Levy 9 contra Júpiter. Ha permitido igualmente confirmar la existencia de los agujeros negros y de la energía oscura, y ha ayudado a datar la edad del universo, situada en torno a los 13800 millones de años. En noviembre de 2008 se convirtió en el primer telescopio en obtener una imagen directa de un planeta extrasolar, situado alrededor de la estrella Fomalhaut.

Búsqueda de planetas más allá de nuestro sistema solar

Por su parte, el Kepler fue lanzado el 7 de marzo de 2009 para encontrar planetas similares en tamaño a la Tierra fuera del sistema solar. Se le equipó con instrumentos para permitirle detectar cambios de brillo en miles de estrellas y, a partir de ellos, determinar la presencia de planetas orbitándolas. Hasta la fecha, el Kepler ha detectado más de 2300 planetas, una cifra que puede ascender tras la revisión de datos. La mayoría tienen una masa varias veces superior a la del nuestro, pero en 2014 se descubrió con el Kepler el primero similar en tamaño a la Tierra, bautizado con el nombre de Kepler-186f. Este orbita en la región potencialmente habitable (por su temperatura) existente en torno a la estrella Kepler-186, a unos 500 años-luz en la constelación de Cygnus (el Cisne). Desde entonces, la cantidad de planetas de este tipo se ha incrementado hasta superar la veintena.

El espacio en los próximos cincuenta años

En el próximo medio siglo, nuestra especie dará los primeros pasos hacia el establecimiento de una presencia permanente más allá de la órbita terrestre. El retorno a la Luna, y la exploración tripulada de los asteroides y del planeta Marte, abandonarán definitivamente la mesa de diseño para convertirse en realidades tangibles.

Desde que el ser humano diera sus últimos pasos sobre la superficie de la Luna en diciembre de 1972, han surgido numerosas iniciativas para continuar la exploración tripulada de los cuerpos celestes más cercanos de nuestro sistema solar, la mayoría de las cuales nunca abandonaron la fase conceptual. Al calor de la euforia desatada por el programa Apolo, la mirada de muchos científicos e ingenieros se dirigió a Marte. Algunas estimaciones apuntaban a la década de 1980 como el periodo en que los primeros astronautas caminarían sobre las vastas y rojizas planicies marcianas. Lamentablemente, el fin de la *carrera lunar* con la llegada del Apolo 11 a nuestro satélite supuso el comienzo de un periodo carente de estímulos. El Congreso de Estados Unidos canceló el programa lunar tras el Apolo 17 al entender que, una vez ganada la carrera a los soviéticos, no tenía sentido seguir enviando astronautas a la Luna. El tiempo demostraría cuán equivocados estaban al clausurar un programa con un potencial científico y tecnológico sin precedentes en la historia. Se optó entonces por estudiar el comportamiento del ser humano en condiciones de microgravedad prolongada, como se vio en el cuarto capítulo. Los datos obtenidos en esas experiencias serían

de gran valor para expediciones más allá de la órbita de la Tierra, aunque las previsiones de emprender una misión tripulada a Marte se fueron desvaneciendo con el transcurso de los años.

En la década de 1990 surgieron algunas propuestas orientadas al establecimiento de bases humanas en la superficie de la Luna, como el Primer Puesto Avanzado Lunar (FLO, por sus siglas en inglés), una iniciativa mucho más ambiciosa que el programa Apolo y con un coste que excedía con creces las capacidades económicas de Estados Unidos en aquellos momentos, motivo por el cual fue abandonada en años siguientes. Surgía, por tanto, la necesidad de desarrollar iniciativas que contaran con la participación internacional, una alternativa que comenzó a explorarse en el marco del programa de la Estación Espacial Internacional, y que constituirá la tónica en los futuros programas humanos de exploración espacial.

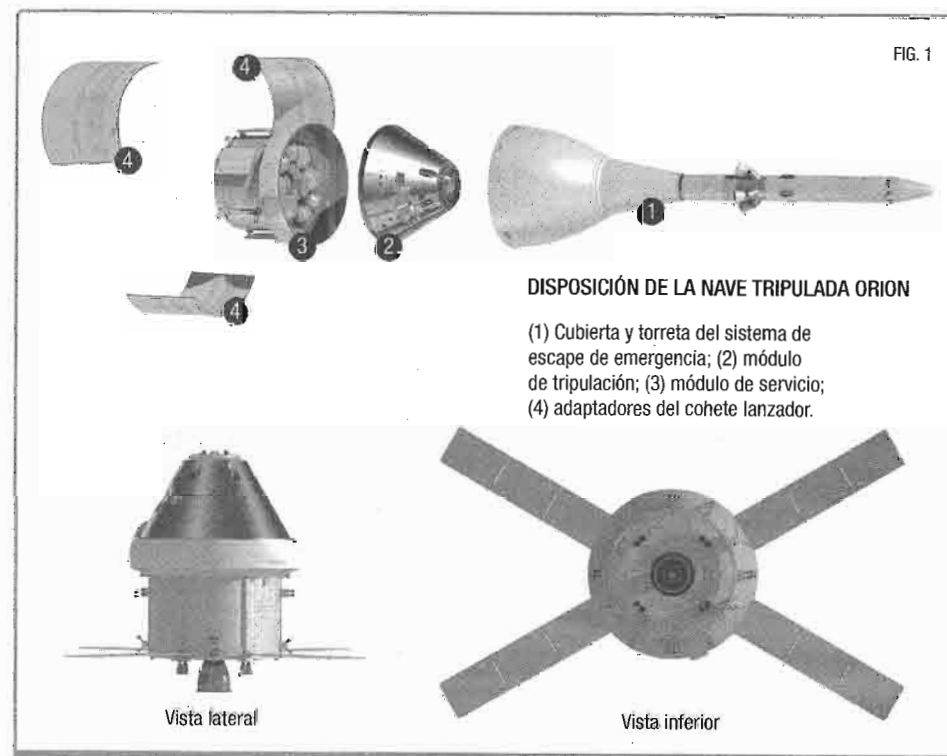
El año 2004 vio el nacimiento del programa Constellation (Constelación), una iniciativa aún más ambiciosa que el FLO, la cual establecía la Luna como un paso más en el largo camino hacia un objetivo mucho más distante en el espacio: Marte. Para conseguirlo, la NASA comenzó a diseñar la infraestructura necesaria para la consecución de tales planes, lo que implicaba el desarrollo de una nueva nave espacial, llamada Orion (Orión), y de dos cohetes, Ares I (lanzador ligero) y Ares V (lanzador pesado), que se encargarían de poner en órbita a la citada astronave y la infraestructura necesaria para lograr tales objetivos. Al igual que ocurriera con el FLO, el programa Constellation fue cancelado en 2009 por motivos presupuestarios. No obstante, parte de la infraestructura diseñada por la NASA para él, como la nave Orion, sobrevivió a la cancelación, y su entrada en servicio tendrá lugar en breve en una nueva iniciativa que continúa contemplando a Marte como objetivo.

NUEVOS EQUIPAMIENTOS PARA NUEVOS DESAFÍOS

La nave Orion (figura 1) será el vehículo empleado por Estados Unidos para realizar misiones tripuladas de exploración más allá

de la órbita terrestre. Actualmente es un proyecto de la NASA con participación de la ESA, lo que lo convierte en fruto de la colaboración internacional.

Orion está integrado por dos estructuras principales. La primera de ellas es el módulo de tripulación, de forma tronco-cónica, con capacidad para transportar entre cuatro y seis astronautas en misiones más allá de la Luna. Está dotado de un sistema de protección térmica reutilizable basado en las losetas del transbordador espacial. La segunda estructura es el módulo de servicio. De forma cilíndrica, este módulo está equipado con paneles solares y alberga los sistemas principales de propulsión, control de orientación y elementos básicos de soporte vital (agua y aire para la tripulación). El módulo de servicio es la contribución europea al programa Orion, y es herencia de los



Vehículos Automáticos de Transferencia lanzados por la ESA entre 2008 y 2016 para reabastecer a la Estación Espacial Internacional.

Aunque su aspecto puede recordar a las antiguas naves Apolo, la nave Orion cuenta con un 50% más de volumen y es mucho más sofisticada y versátil. Dispone de computadoras, software y fuselaje capaces de resistir exposiciones prolongadas a radiación intensa, dispositivos redundantes que garantizan el correcto funcionamiento de los sistemas de a bordo, además de navegación y guiado automáticos, lo que permitirá su utilización en misiones con destino no solo a la Luna, sino también a asteroides cercanos a la Tierra e incluso al planeta Marte.

Por su parte, Rusia, bajo el auspicio de su agencia espacial Roscosmos, está trabajando en el diseño de su propia nave tripulada de exploración. Llamado Federatsiya (Federación), este vehículo será parcialmente reutilizable al igual que su homólogo Orion, y su propósito es sustituir a las naves Soyuz y servir de vehículo exploratorio en misiones más allá de la órbita terrestre. Además, tendrá capacidad para realizar vuelos sin tripulación.

ASENTAMIENTOS EN LA LUNA

Como se ha mencionado anteriormente, desde la última misión Apolo se han ideado numerosas iniciativas para regresar y establecer colonias permanentes en su superficie. Los frutos cosechados en el marco de la colaboración internacional en el programa de la ISS, el resurgimiento de la nave Orion (también fruto de esa cooperación) y el descubrimiento de importantes cantidades de agua en la Luna son factores que han renovado el interés por regresar a la superficie selenita y establecer allí una presencia humana constante, como paso previo al envío de humanos al planeta Marte.

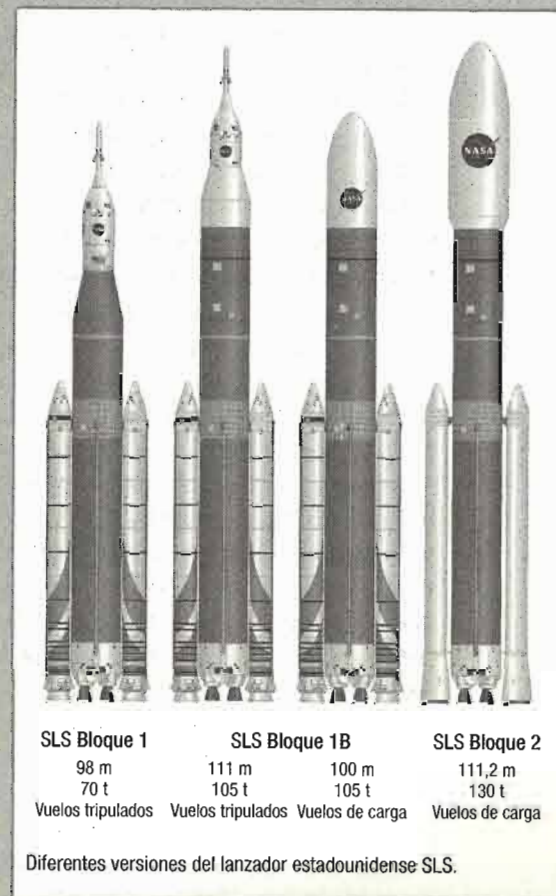
Tanto la NASA como la ESA y Roscosmos están trabajando en iniciativas que permitan materializar la idea del asentamiento humano en la superficie lunar, cuyas estimaciones apuntan a que su desarrollo tendría lugar a partir del año 2025. China, por su

EL CABALLO DE BATALLA DE ORION

El lanzador encargado de poner en órbita la nave Orion no tiene aún nombre propio, siendo conocido actualmente bajo la denominación técnica de Sistema de Lanzamiento Espacial, o SLS en su acrónimo inglés. Superará en potencia al Saturno V que envió las naves Apolo a la Luna, convirtiéndose así en el lanzador más poderoso de la historia. El primer SLS será lanzado en un vuelo de prueba en torno a 2019, y pertenecerá al «Bloque 1», una configuración exclusivamente destinada a vuelos tripulados con destino a la Luna. Estará integrado por un cuerpo central de dos etapas (principal y superior) y dos cohetes laterales de combustible sólido, estos últimos heredados del programa del transbordador espacial, al igual que los cuatro motores RS-25 de su etapa principal. En su conjunto, el SLS del Bloque 1 tendrá una altura de 98 m y capacidad para lanzar cargas de 70 toneladas de peso al espacio. Una segunda configuración, denominada «Bloque 1B», comprenderá dos tipos de lanzadores, uno destinado a misiones tripuladas más allá de la Luna (111 m) y otro para la puesta en órbita de cargas pesadas (100 m).

Sentando los cimientos de un gigante

Existe en perspectiva una tercera configuración del SLS, denominada «Bloque 2». Superará los 111 m de altura, convirtiéndose en el cohete más grande construido, y tendrá la capacidad de poner en el espacio cargas de 130 toneladas de peso. Estará destinado al lanzamiento de aquellas infraestructuras (hábitats y módulos) necesarias para el establecimiento de bases en la superficie del planeta Marte.



parte, contempla igualmente el envío de «taikonautas» en misiones exploratorias a partir de la década de 2020.

Dos de los lugares que han suscitado mayor interés para el establecimiento de estas bases se sitúan en los polos norte y sur de la Luna. En el primero existen áreas de luz eterna, es decir, que se encuentran iluminadas por el Sol permanentemente, con independencia del movimiento de rotación de la Luna, lo cual supone una ventaja a la hora de obtener energía eléctrica mediante sistemas fotovoltaicos (paneles solares), dado que, salvo incidencias, el suministro eléctrico sería constante. En el polo sur existen otras zonas en las que la luz solar no es continua, aunque los periodos de sombra son pequeños, como el borde del cráter Shackleton. En latitudes medias no existen áreas iluminadas permanentemente por el Sol, y se encuentran sujetas a periodos nocturnos muy extensos, que conllevan descensos térmicos muy acusados, lo que potenciaría que la instrumentación sufriera fallos importantes.

El establecimiento de una colonia en la Luna comportaría ciertas ventajas. Los análisis practicados al regolito lunar traído a la Tierra en las misiones Apolo han permitido la fabricación de regolito artificial elaborado con distintas rocas terrestres, cuyo resultado final es un material exacto al lunar en propiedades físicas y químicas. Los diferentes experimentos realizados con él apuntan a que el regolito lunar tiene unas cualidades que lo hacen apto para su utilización en edificaciones, lo que facilitaría sobremanera las tareas encaminadas al establecimiento de una base en la superficie lunar al no tener que transportar hasta allí materiales de construcción. Bastaría con enviar máquinas que procesasen el regolito para su utilización directa.

EXPLORACIÓN DE ASTEROIDES CERCANOS A LA TIERRA

La iniciativa de desarrollar misiones tripuladas con destino a los asteroides cercanos a la Tierra, más conocidos como NEAs por su acrónimo en inglés, surgió en el marco del difunto programa Constellation. Aunque fue cancelado, parte de su perfil y algunas

de sus infraestructuras han sobrevivido y forman parte del actual programa de la NASA para la exploración espacial humana más allá de la órbita de la Tierra.

Son muchos los científicos e ingenieros que piensan que la primera etapa hacia la exploración humana de Marte debe basarse en la realización de misiones que hasta ahora no se han llevado a cabo. Dado que en las décadas de 1960 y 1970 el ser humano visitó la Luna y caminó sobre su superficie, parecía oportuno fijar otros objetivos más allá de nuestro satélite natural.

La exploración humana de NEAs no es una tarea fácil de realizar. Se trata de cuerpos pequeños (de decenas o centenares de metros de envergadura) que poseen una gravedad mínima, lo que imposibilita que los astronautas puedan caminar sobre su superficie. Un primer paso hacia la consecución de este proyecto lo constituye la misión ARM (acrónimo en inglés de Misión de Redirección de un Asteroide). Se trata de una iniciativa que implica el lanzamiento de una nave robótica destinada a la captura de un NEA (o parte de él) para su transferencia a una órbita lunar distante. Posteriormente, varios astronautas a bordo de una nave Orion accederían a él con el fin de recoger muestras y transportarlas a la Tierra para su estudio.

El éxito de la misión ARM abriría nuevas oportunidades para la exploración humana de NEAs en el futuro, las cuales incluirían el envío de misiones tripuladas directamente a las órbitas naturales de estos asteroides, para las cuales se baraja el uso de ingenios como el Vehículo de Exploración Espacial Multipropósito (MMSEV, por sus siglas en inglés) de la NASA, actualmente en desarrollo, cuyas múltiples configuraciones lo convierten en una herramienta óptima no solo en misiones tripuladas a los asteroides, sino también a la Luna y a Marte.

PRIMEROS PASOS EN LA SUPERFICIE MARCIANA

Marte es un planeta muy cercano a la Tierra en términos astronómicos. Sin embargo, en la escala humana, esa distancia convierte al Planeta Rojo en un destino remoto. La tecnología actual

permite el envío de ingenios a Marte en marcos de tiempo que oscilan entre los 7 y 11 meses, dependiendo de la proximidad entre los dos planetas. Por tanto, una misión de ida y vuelta requeriría del orden de dos años, eso sin tener en cuenta el tiempo de misión en la superficie marciana.

Los datos suministrados por las naves enviadas a Marte indican que el espacio entre este y la Tierra se encuentra expuesto a intensos campos de radiación cósmica y solar, lo que, en un viaje tan largo, podría conllevar serios problemas de salud para los astronautas que participasen en misiones tripuladas con destino al Planeta Rojo. Por otra parte, y como se explicaba en el capítulo 4, los estudios llevados a cabo a bordo de la ISS en torno al comportamiento del organismo humano en condiciones de microgravedad prolongada demuestran que este experimenta una merma considerable en expediciones de varios meses de duración. Como consecuencia de todo ello, los astronautas participantes en una misión a Marte regresarían a la Tierra con una merma significativa en diversos aspectos de su salud, y con una mayor propensión a padecer ciertas enfermedades, incluyendo cáncer y dolencias cardiovasculares y musculoesqueléticas de primer orden. Por tanto, es necesario el diseño de un vehículo dotado de espacios blindados en los que la tripulación pueda cobijarse en periodos en los que la radiación espacial sea demasiado alta. Asimismo, es imprescindible evitar el deterioro experimentado por el cuerpo humano en condiciones de microgravedad prolongada. En relación con esto último, existen varias alternativas actualmente bajo estudio. La primera de ellas es incorporar al vehículo de transporte a Marte una estructura toroidal que, a través de su rotación, genere un ambiente de gravedad artificial, un principio que, como se exponía en el capítulo 2, ya había sido contemplado en los primeros diseños de estaciones espaciales para la órbita terrestre. La segunda es introducir innovadores sistemas de propulsión que reduzcan considerablemente la duración de los viajes de ida y vuelta, con lo que la exposición a la radiación y a la microgravedad sería menor.

Otra cuestión sujeta a debate es la elección del lugar de aterrizaje. Dado que las misiones tendrían un carácter únicamente

científico, las zonas serían elegidas con arreglo a su valor tanto geológico como biológico (zonas en las que pudiera haber florecido la vida), y a los márgenes que ofrecieran en materia de seguridad para la tripulación. En este sentido, se evitarán lugares de latitudes elevadas (tanto al sur como al norte), dado que ofrecen poco margen de rendimiento a los vehículos durante las operaciones de ascenso al contar con menos asistencia de la rotación del planeta. Además, las bajas temperaturas en dichas latitudes potenciarían el mal funcionamiento de la instrumentación, y los escasos (e incluso nulos) periodos de luz en determinadas épocas del año dificultarían sobremanera las tareas de aterrizaje o la conducción de vehículos sobre la superficie. Otros lugares a evitar serían aquellos que obstaculizaran el trabajo, como regiones con pendientes pronunciadas, zonas propensas a sufrir tormentas de polvo y territorios poblados por gran cantidad de rocas de gran tamaño.

Los trajes espaciales tendrán un papel clave. No serán como los empleados en la superficie lunar por los astronautas de las misiones Apollo, sino menos pesados y a la vez más resistentes. Dotarlos de ambas cualidades será un reto pero por fortuna la tecnología en ciencia de materiales y otros campos ha progresado mucho desde la época del programa Apollo y ya se trabaja en varios diseños prometedores.

El momento más propicio para enviar humanos a la superficie de Marte se presentaría una vez quedara descartada o confirmada la presencia de formas de vida en el planeta. La realización de misiones con anterioridad a dicho momento podría entrañar riesgos serios de contaminación biológica. Todo traje espacial o hábitat planetario puede emitir partículas al exterior, incluyendo bacterias y virus, pudiéndose producir casos de contaminación de salida (la tripulación podría diseminar microorganismos terrestres en el planeta). Por otra parte, las técnicas existentes para la limpieza de trajes y herramientas expuestas al medio marciano no garantizan su completa esterilidad, pudiéndose dar

Una hoja de hierba es banal en la Tierra, pero sería un milagro en Marte. Nuestros descendientes en Marte conocerán el valor de una porción de hierba.

CARL SAGAN

TRAJES ESPACIALES PARA LA EXPLORACIÓN PLANETARIA

Los primeros diseños de trajes para la exploración planetaria surgieron en el marco del programa Apolo. Durante las actividades extravehiculares realizadas sobre la superficie de la Luna quedó demostrado que estos trajes, además de ser muy voluminosos, pesados e incómodos, ofrecían poco margen de movimiento, hasta el punto de que los astronautas encontraban no pocas dificultades para reincorporarse tras sufrir algún tropiezo en la superficie, algo frecuente teniendo en cuenta las irregularidades que presenta el terreno selenita, que se traducen en desniveles y multitud de rocas, algunas de las cuales permanecen enterradas en el regolito lunar sin que su presencia sea advertida.

Trajes de la era digital

Con el transcurso de los años, han surgido prototipos mucho más versátiles y sofisticados que sus predecesores. La compañía aeroespacial estadounidense ILC Dover, constructora de la Unidad de Movilidad Extravehicular (EMU), trabaja actualmente en varios diseños, entre ellos el prototipo I-Suit, un traje avanzado para su utilización tanto en la Luna como en Marte. El astronauta accede a su interior a través de la *mochila*, la cual se abre como una escotilla al estar unida al traje por unas bisagras. Este sistema de acceso es similar al dispuesto en los trajes Orlan y Feltian. El I-Suit está dotado de un HUD (siglas de *Heads-Up Display*), una pantalla de proyección superior en el visor del casco que proporciona información de su estado. También cuenta con un interfaz de conexión con vehículos robotizados, y la posibilidad de realizar su mantenimiento y reconfiguración *in situ*. Otro traje en el que ha trabajado ILC Dover y que ha generado mucho interés es el Z-2. Este pesará 65 kg y tendrá un torso hecho de materiales compuestos duros, con mejoras en hombros y caderas, pudiendo utilizar un nuevo sistema de soporte vital portátil. Se espera que esté listo en 2020.

Prototipos universitarios y europeos

Por su parte, el Laboratorio de Vuelos Espaciales Tripulados de la Universidad de Dakota del Norte (Estados Unidos) está trabajando en dos prototipos, llamados NDX-1 y NDX-2. El NDX-1 es el primer prototipo construido en el ámbito universitario. Fue diseñado por un grupo de estudiantes graduados liderados por el ingeniero espacial Pablo de León y el experto en movilidad Gary Harris. El NDX-1 ha sido probado con éxito en regiones antárticas y desérticas, donde predominan los climas extremos. Su colocación es similar a la de la EMU, es decir, el astronauta se enfunda los pantalones en primer lugar, para después colocarse la parte del torso superior. La experiencia adquirida en el desarrollo y pruebas del NDX-1 constituye la base del NDX-2, un prototipo de traje espacial lunar. Contrariamente al primero, el acceso al interior de este traje se realiza del mismo modo que en los Orlan, Feltian e I-Suit. En Europa, el Foro Espacial Austriaco (OeWF, por sus siglas en alemán) ha diseñado un simulador de traje espacial llamado Aouda.X. Dispone igualmente de un HUD que proporciona información general sobre su estado, de un sistema de circulación de aire que controla los niveles de dióxido de carbono, de sensores médicos, de juntas y de guantes que emulan la rigidez de un traje espacial real.



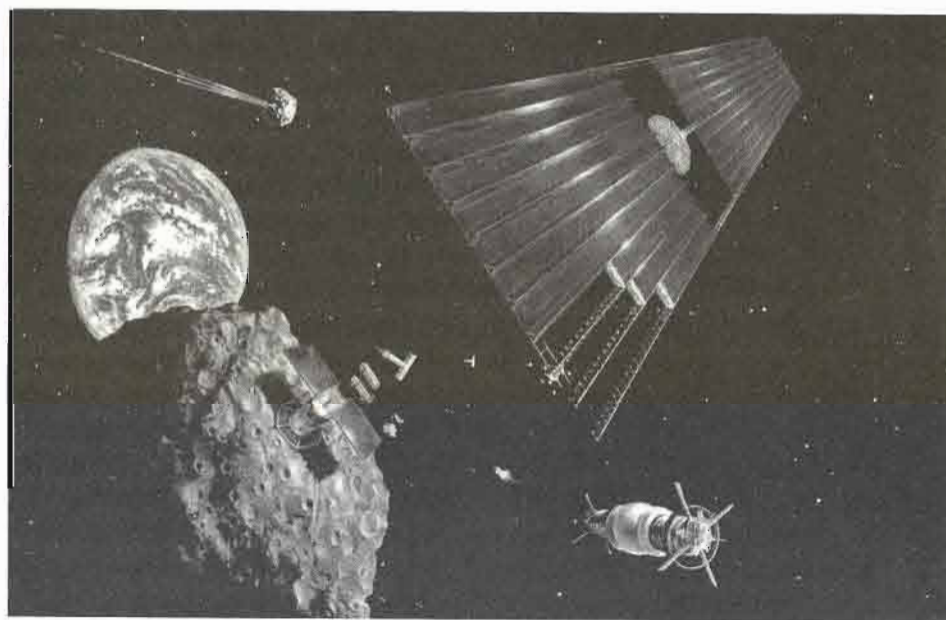
Dos trajes de prueba NDX-2, desarrollados por la Universidad de Dakota del Norte (Estados Unidos). El acceso tiene lugar por la parte posterior, a través de una «mochila» a modo de escotilla.

casos de contaminación de entrada o de regreso (algún microorganismo procedente del planeta podría depositarse en la tripulación).

MINERÍA EN EL ESPACIO

El establecimiento de colonias mineras en cuerpos del sistema solar constituye otra de las formas de colonización de nuestro entorno planetario. Se trata de una cuestión que, hasta no hace mucho tiempo, estaba enmarcada en el ámbito de la ciencia ficción. El avance que la tecnología espacial ha experimentado en los últimos años ha permitido concebir iniciativas para establecer complejos mineros en diversos astros, con especial atención a los NEAs. Los asteroides están divididos en tres tipos en función de su composición: C, S y M. Así, el tipo C engloba a los asteroides carbonáceos, muy ricos en carbono como su propio nombre indica. El tipo S aglutina a los asteroides rocosos (S proviene del término inglés *stony*, que significa rocoso), en los que predominan los silicatos, sulfuros y algunos metales como el hierro y el níquel. El tercero es el tipo M y a él pertenecen los asteroides de tipo metálico.

Muchos de los materiales que podrían ser extraídos de los NEAs para su posterior procesamiento tienen un gran potencial de utilidad en los ámbitos de la propulsión, construcción, soporte vital, agricultura, metalurgia y semiconductores. En el primero de ellos, elementos volátiles como el hidrógeno y el oxígeno pueden ser empleados como combustible de vehículos espaciales. Por otra parte, determinados metales son de gran utilidad para la construcción de infraestructuras como, por ejemplo, paneles solares, de reducidas dimensiones y muy efectivos. En el ámbito del soporte vital, elementos como el hidrógeno, el nitrógeno y el oxígeno pueden emplearse para la producción de aire respirable y agua. En resumen, el establecimiento de explotaciones mineras en el espacio puede contribuir a mejorar sensiblemente nuestro nivel de vida en la Tierra y cimentar las bases de la exploración humana de nuestro sistema solar.



Dos impresiones artísticas que pueden convertirse en actividades habituales en las próximas décadas: arriba, astronautas trabajando en la superficie de Marte; abajo, ejemplo de instalaciones mineras en el espacio.

El 13 de junio de 2016, el Gobierno de Luxemburgo, junto a la Sociedad Nacional de Crédito e Inversión (SNCI, por sus siglas en francés) y la compañía privada de tecnología aeroespacial estadounidense Planetary Resources (Recursos Planetarios) firmaron un memorándum para la puesta en marcha de la iniciativa Space Resources (Recursos Espaciales), orientada a la exploración y explotación comercial de recursos obtenidos a partir de los NEAs. Este consorcio pretende establecer un marco legal y regulador para aquellas actividades destinadas a la explotación de recursos espaciales y, de este modo, dotar a las compañías y a los inversores privados con las herramientas legales necesarias para tales propósitos. Todo ello debe disponerse de acuerdo al Tratado para el Espacio Ultraterrestre firmado por la Organización de Naciones Unidas en el año 1967, y que regula las actividades realizadas más allá de la atmósfera terrestre, pero la iniciativa constituye un punto de inflexión en el largo camino de la humanidad en la exploración y colonización del espacio.

EXPEDICIÓN ROBÓTICA A ALFA CENTAURI

Explorar mundos inmersos en la profundidad del océano cósmico es un sueño acariciado por escritores, científicos e ingenieros durante generaciones. Pero quizá en los próximos años ese ansiado sueño pueda, finalmente, transformarse en una realidad.

El 12 de abril de 2016, un grupo denominado Breakthrough Initiatives (Iniciativas de Progreso), liderado por el filántropo científico ruso Yuri Milner, lanzó un programa de becas tecnológicas por valor de 100 millones de dólares, con el propósito de financiar estudios sobre la viabilidad de un proyecto bautizado con el nombre de Breakthrough Starshot (Lanzamiento Estelar Avanzado), basado en la creación de una flota de pequeñas nanosondas espaciales que serían lanzadas rumbo al sistema solar más cercano al nuestro, Alfa Centauri, situado en la constelación de Centauro. Las nanosondas irían equipadas con *velas solares*, unas pantallas de material reflectante, con una superficie de entre 9 y 32 m², sobre las que se proyectaría un potente haz de láser.

La presión ejercida por el continuo bombardeo de fotones procedentes de este haz sobre las velas imprimiría una aceleración de manera constante a las naves que, con el transcurso del tiempo, podrían alcanzar hasta un 20% de la velocidad de la luz, llegando a su destino en tan solo veinte años.

Las naves, provistas con pequeñas cámaras y sensores, captarían imágenes y recopilarían datos sobre este sistema estelar y las retransmitirían a la Tierra. Sus señales, que tardarían en llegar a nuestro planeta cuatro años, se convertirían en los primeros datos obtenidos *in situ* desde un sistema planetario ajeno al nuestro.

Breakthrough Starshot es un programa liderado por Pete Worden, antiguo director del Centro de Investigación Ames de la NASA, y cuenta con un comité consultor integrado por científicos de prestigio, entre ellos el físico Stephen Hawking y miembros de la Planetary Society (Sociedad Planetaria), una organización cofundada en 1980 por Carl Sagan cuyo propósito es fomentar la exploración del espacio.

La idea de navegar por el espacio mediante la tecnología de velas solares no es nueva. Carl Sagan, Louis Friedman y Bruce Murray comenzaron a trabajar en este concepto en las oficinas del Laboratorio de Propulsión a Chorro (JPL, por sus siglas en inglés) de Pasadena, California, en la década de 1970, estudiando algunas propuestas, entre ellas el diseño de una nave con velas solares que habría sido lanzada con destino al cometa Halley durante su paso cercano a la Tierra en 1986. Aunque tales propuestas no llegaron a plasmarse, el concepto siguió bajo estudio, materializándose en misiones como la japonesa IKAROS, lanzada en 2010 (una vela de 196 m² de superficie), y las estadounidenses Nanosail-D (de 9,3 m²) y LightSail 1 (de 32 m²), lanzadas en 2008 y 2015, respectivamente, siendo esta última un proyecto de la Planetary Society, lo que la convirtió en la primera iniciativa privada de estas características.

Como se ha dicho, el propósito de Breakthrough Starshot es explorar Alfa Centauri en busca de astros en órbita a los soles.

A lo largo y ancho del mar del espacio, las estrellas son otros soles.

CARL SAGAN

de este sistema estelar. Sin embargo, existen razones de peso para que este proyecto cambie ligeramente de destino. El 24 de agosto de 2016, un equipo de astrónomos liderados por Guillem Anglada-Escudé, de la Universidad Queen Mary de Londres, confirmó la existencia de un planeta rocoso, de 1,3 masas terrestres y situado en la franja orbital habitable en torno a la estrella Próxima Centauri, posiblemente perteneciente al mismo sistema estelar que Alfa Centauri, y al que han bautizado como Próxima Centauri b. El hecho de que se trate de un planeta de masa similar a la Tierra, situado en una zona habitable con respecto a su estrella, y de que este se haya convertido en el planeta más cercano a nuestro sistema solar en ser descubierto, convierten a Próxima Centauri b en un candidato a ser explorado en el marco de la iniciativa Breakthrough Starshot.

Por el momento, desconocemos las posibilidades de éxito de una misión de estas características. De llevarse a cabo, supondría el primer paso en un largo camino que podría conducir a la especie humana a establecer su presencia más allá de nuestro sistema solar, tal como predijera el científico Konstantín Tsiolkovski hace más de cien años.

- BÜDELER, W., *Proyecto Apolo*, Barcelona, Editorial Sagitario, 1969.
- BURCHETT, W. Y PURDY, A., *Vuelos espaciales rusos. Gagarin y Titov*, Barcelona, Vicens-Vives, 1965.
- CLAROS, V. Y LEÓN, R., *Historia de la Estación de Seguimiento de Satélites de Villafranca del Castillo «VILSPA» (1975-2009)*, Madrid, INTA/INSA, 2011.
- COUPER, H. Y HENBEST, N., *Historia de la astronomía*, Barcelona, Paidós, 2008.
- GALADÍ-ENRÍQUEZ, D., *Cuestiones curiosas de astronomía*, Madrid, Alianza Editorial, 2014.
- HERRERA, E., *Ciencia aeronáutica*, Madrid, Fundación Aena, 2009.
- JASTROW, R., *La exploración del espacio*, Barcelona, RBA, 1993.
- LLAUGÉ, F., *Rusia en el espacio*, Barcelona, Ediciones Telstar, 1968.
- MAILER, N., *Moonfire. El viaje épico del Apollo 11*, Madrid, Taschen, 2010.
- PALUZIE, A., *Cómo se realizarán los viajes interplanetarios*, Barcelona, Editorial Rauter, 1958.
- PARRY, D., *Objetivo: la Luna*, Barcelona, Planeta, 2009.

RUIZ DE GOPEGUI, L., *Rumbo al Cosmos*, Madrid, Temas de Hoy, 1999.

SAGAN, C., *Cosmos*, Barcelona, Planeta, 2004.

SPARROW, G., *Astronáutica. La historia desde el Sputnik al Transbordador y más allá*, Madrid, Ediciones Akal, 2008.

VV.AA. *Gran atlas del espacio*, Barcelona, Ebrisa, 1988.

WATSON, F., *Astronómica*, Madrid, H.F. Ullmann Publishing, 2012.

INDICE

A-4 (Aggregat 4) 48

Aldrin, Edwin («Buzz») 65, 76-78

alimentos espaciales 89, 99, 100

Anders, William 73

Aouda.X (simulador de traje espacial) 156

Apolo 61, 65, 66, 69-71, 73-80, 84, 93, 147, 148, 150-152, 155, 156

ARM (Misión de Redirección de un Asteroide) 153

Armstrong, Neil 65, 76-78

Arquitas de Tarento 35

aseo en el espacio 100-103

asteroide 8, 9, 11, 112, 114, 122, 123, 130, 131, 134-136, 145, 150, 152, 153, 158

ATDA 65

Atlantist 95, 121

ATV (Vehículo Automático de Transferencia) 89, 91, 150

Belka 53, 57

Borman, Frank 64, 73

Braun, Wernher von 19, 42, 44, 47, 48, 50, 52, 53, 83

Breakthrough Starshot 160-162

Bykovski, Valeri 61

Carpenter, Scott 60

Cassini-Huygens 140

Cernan, Eugene 65, 76, 80

Chaffee, Roger 73

Challenger 95, 113

Chernushka 53

Churyumov-Gerasimenko 134

Collins, Michael 65, 76-78

Columbia (módulo del Apolo) 76, 78

Columbia (transbordador) 95, 96

cometa 8, 9, 17, 22, 112, 122, 130, 131, 134, 135, 144, 161

Conrad, Richard 65, 78

Cooper, Gordon 60

Crew Dragon 89

Cunningham, Walter 73

Curiosity (Mars Science Laboratory) 128-130

Cygnus (carguero espacial) 89, 91

Discovery 95, 143, 144

DSN (Red de Espacio Profundo) 132, 133

Duke, Charles 80

Eisele, Donn 73

EMU (traje espacial) 97, 98, 156

Endeavour 88, 96
 esdípilo 36, 38
 ESA (Agencia Espacial Europea) 80, 88,
 90, 91, 113, 114, 122, 127, 130-132, 134,
 140, 144, 149, 150
 Estación Espacial Internacional *véase*
 ISS
 estratonáutica, escafandra 46
 EVA (Actividad Extravehicular) 62, 64,
 65, 76, 78, 97
 Evans, Ronald 80
 Explorer 52, 53

Federatsiya 150
 Feitian 98, 156

Gagarin, Yuri 58, 61, 63, 99
 GATV 64, 65
 Gemini 62-65
 Glacobi-Zinner 131
 Glotto 131
 Glenn, John 60
 Goddard, Robert 19, 38, 39, 48
 Gordon, Richard 65, 78
 gravitación universal, leyes de la 23,
 26, 27
 Grigg-Skjellerup 131
 Grissom, Virgil «Gus» 60, 64, 73

Halley (cometa) 122, 131, 161
 Hayabusa 135, 136
 Helios (satélites) 113
 Herón de Alejandría 36
 Herrera, Emilio 44-46
 Hubble (telescopio) 26, 141-144

ICE 131
 IKAROS 161
 Irwin, James 80
 ISS 86, 88-92, 95, 97, 99, 101-103, 105,
 148, 150, 154
 Itokawa 135

JAXA 135
 Júpiter (planeta) 30, 131, 136-138, 141,
 142, 144
 Jupiter C (cohetes) 48, 52

Kelly, Scott 89, 105
 Kepler (telescopio) 142-144

Kepler, Johannes 8, 22-24, 26-28, 39
 Komarov, Vladimir 62, 65, 66
 Korabl Sputnik 53, 57
 Korniyenko, Mijail 105
 Koroliov, Serguéi 19, 42, 50
 Kounotori (HTV) 89, 91
 Lagrange, punto de 113
 Laika 51, 52
 León, Pablo de 156
 Leónov, Alekséi 62, 98
 LightSail 161
 LK (módulo lunar soviético) 74, 75
 LOK (nave orbital lunar soviética) 74, 75
 Lovell, James 64, 65, 73, 78
 Lunar Orbiter 68, 70, 71
 Lunokhod (Lunojod o Lunajod) 80

Magellan (Magallanes) 121, 122
 Mariner 116-118, 123, 124
 Mars 123, 124
 Mars Express 127
 Mars Global Surveyor 126, 127
 Mars Pathfinder 126
 Mars Reconnaissance Orbiter (MRO)
 127
 Marte 9, 11, 22, 23, 30, 39, 81, 104, 111,
 114, 122-132, 144, 145, 147, 148, 150,
 151, 153-156, 159
 Mattingly, Thomas 80
 Mercurio (planeta) 30, 111, 114, 116, 117
 Mercury (o Mercurio, programa
 espacial) 57-60, 64
 MESSENGER 116, 117
 minería espacial 11, 158-160
 Mir 86, 87, 89, 96, 104
 Mitchell, Edgar 80
 MMSEV (Vehículo de Exploración
 Espacial Multipropósito) 153
 Módulo Lunar (LEM) 74-76, 78, 80
 movimiento planetario, leyes del 8, 23,
 26
 Mushka 53

N-1 (cohetes) 72
 NASA 44-46, 48, 57, 58, 60-62, 68, 71, 73,
 74, 76, 89, 94-96, 105, 112-114, 116-118,
 120-124, 126-128, 130-132, 134, 136,
 137, 139, 140, 142, 144, 148-150, 153,
 161

NDX (prototipos de trajes espaciales)
 156, 157
 NEAR (o NEAR-Shoemaker) 134, 136
 Neptuno 30, 131, 136, 138, 142
 New Horizons 141, 142
 Newton, Isaac 8, 23-28, 33, 35
 Nikoláyev, Andrián 60

Oberth, Hermann 41, 42, 44, 48
 Opportunity 127-130
 Orion (nave espacial) 148-151, 153
 Orlan 97, 98, 156
 OSO (Observatorios Solares Orbitales)
 112

paseo espacial *véase* EVA
 Pchelka 53
 Philae 134
 Phoenix 127, 128
 Pioneer 136-138
 Pioneer Venus 120
 Planetary Society, The 161
 Plutón 30, 141, 142
 Poliakov, Valeri 104
 Popovich, Pável 60
 Potočnik, Herman (Noordung, Hermann)
 41-43, 83
 Progress 87, 89-91
 Próxima Centauri 160, 162

Roosa, Stuart 80
 Roscosmos 130, 150
 Rosetta 134
 Ryumin, Valeri 105

Sagan, Carl 8, 11, 139, 155, 161
 Salyut 84-87, 89, 105, 113
 Saturno (planeta) 30, 136-138, 140
 Saturno V (cohetes) 48, 72, 73, 151
 Schiaparelli (módulo de descenso)
 130
 Schirra, Walter 60, 64, 73
 Schmitt, Harrison 80
 Scott, David 65, 76, 80
 SDO (Observatorio de Dinámica Solar)
 114
 Shenzhou 92, 93
 Shepard, Alan 58, 60, 61, 80
 Shoemaker-Levy 9 144
 Skylab 84, 85, 113

SLS (Sistema de Lanzamiento Espacial)
 151
 SOHO (Observatorio Helioaférico y
 Solar) 113-115
 Sojourner 126, 127, 129
 Sol 8, 10, 16, 23, 30, 31, 96, 112-116, 127,
 130, 131, 138, 152
 Solar Maximum Mission (Solar Max) 113
 Soyuz 61, 65, 66, 74, 84, 87, 89, 90, 150
 Spirit 127-130, 132
 Sputnik 50-53, 57, 66, 112
 Stafford, Thomas 64, 65, 76
 Stardust 134
 Starliner 89
 Strelka 53, 57
 Surveyor 68-71, 78

taikonauta 92, 152
 Tempel 131
 Tereshkova, Valentina 61
 TGO 130
 Tiangong 92, 93
 Titov, Guerman 60
 transbordador espacial 86, 88, 89, 91,
 93-97, 102, 113, 121, 143, 144, 149, 151
 Tsiolkovski, Konstantín 11, 19, 38, 39, 42,
 44, 83, 162

Urano 30, 136, 138, 142

V2 (Vergeltungswaffe 2) 44, 47-50, 53
 Van Allen, cinturones de 53
 Venera 117-120, 122
 Venus 9, 30, 111, 114, 116-122, 132
 Verne, Julio 19, 21, 38, 39, 42
 Viking 124-126
 Voskhod 62
 Vostok 57-62, 99
 Voyager 8, 137-140

Wells, Herbert George 19, 39
 White, Edward 64, 73
 Worden, Alfred 80

Young, John 64, 65, 76, 80

Z-2 (traje espacial) 156
 Zarya 88, 90, 91
 Zond 66-68, 74
 Zvezdochka 53

La exploración del espacio

La segunda mitad del siglo xx vio el comienzo de una de las mayores aventuras en las que se ha embarcado jamás la humanidad: la exploración del espacio exterior. Una empresa llena de desafíos que no ha dejado de poner al límite la capacidad y el ingenio humanos. Los logros cosechados en este ámbito a lo largo de los años están sentando las bases de una ambiciosa gesta sin precedentes en la historia, cuya consecución marcará profundamente el desarrollo de nuestra civilización: el establecimiento de una presencia humana permanente fuera de la Tierra.

Óscar Augusto Rodríguez Baquero es comunicador científico especializado en vuelos espaciales e impulsor del Museo Español del Espacio (MEE).